

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Асинхронный электропривод запорно-регулирующей арматуры газотранспортной системы</b>

УДК 62-83-523:621,646

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗА1	Шутов Евгений Николаевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кладиев С.Н	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова С.Н.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И.Л.			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель Отделения	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Дементьев Ю.Н.	Ph.D, доцент		

Томск – 2018 г.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. отделением

\_\_\_\_\_  
(Подпись)      \_\_\_\_\_ (Дата)      Ю.Н. Дементьев  
(Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-5ГЗА1	Шутову Евгению Николаевичу

Тема работы:

<b>Асинхронный электропривод запорно-регулирующей арматуры газотранспортной системы</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 856/с от 08.02.2018г

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2018г.
--	--------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документации на задвижку
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Подробное изучение технологического процесса, выбор двигателя, частотного преобразователя, исследование динамической модели АД во вращающейся системе координат, оптимизация контуров регулирования, исследование электропривода лифта на модели нелинейного асинхронного электропривода с векторным управлением на базе модели АД во вращающейся системе координат.

<b>Перечень графического материала</b>	Кинематическая схема Функциональная схема частотно-регулируемого электропривода Структурная схема ЭП с векторным управлением Схема имитационной модели электропривода Переходные процессы асинхронного электропривода с векторным управлением
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Попова Светлана Николаевна
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Заключение	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	05.04.2018г
---	-------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кладиев С.Н	к.т.н.		05.04.2018г.

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗА1	Шутов Евгений Николаевич		05.04.2018г

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 108 с., 53 рисунка, 27 таблиц, 41 источников.

Ключевые слова: клиновая задвижка, электропривод, асинхронный двигатель, векторное управление, имитационная модель.

Важнейшим элементом при добычи, транспортировке и хранения газа и нефти является запорная арматура. От нее зависит технологический процесс во всех режимах функционирования.

Одним из путей совершенствования функциональности и надежности трубопроводной арматуры является использование интеллектуального электропривода, способного быстро и качественно выполнить технологическую задачу.

Объектом исследования является задвижка клиновая ЗКЛП 200-16.

Цель работы заключается в исследовании асинхронного электропривода механизма клиновой задвижки при различных режимах работы.

В результате исследования были настроены контура управления электроприводом. На имитационной модели получены переходные процессы скорости, тока и момента в различных режимах.

Достигнутые технико-эксплуатационные показатели: обеспечение плавного пуска, плавное изменение скорости, ограничение крутящего момента.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2003, также для расчетов использовалась программа MathCad 15, среда Simulink MATLAB.

## Содержание

Введение .....	7
1. Технологический процесс .....	9
1.1 Назначение и технические характеристики клиновой задвижки ЗКЛП 200-16 .....	9
1.2 Определение области работы регулируемого электропривода.....	12
2. Выбор электрооборудования, расчет параметров элементов и характеристик .....	14
2.1 Схема реализации силовой части регулируемого электропривода с преобразователем частоты .....	14
2.2 Определение параметров схемы замещения электродвигателя .....	15
2.4 Выбор структурной схемы силового канала электропривода.....	21
3. Расчет статических и предельных характеристик разомкнутой системы ПЧ-АД .....	22
3.1 Расчет дополнительных параметров двигателя и преобразователя.....	22
3.2 Естественные механическая и электромеханическая характеристики электропривода.....	23
3.3 Определение заданной области работы электропривода.....	25
4 Расчет линеаризованной САУ электропривода .....	30
4.1 Структурная схема линеаризованной САУ частотно регулируемого асинхронного электропривода с векторным управлением .....	30
4.2 Оптимизация контуров регулирования.....	32
5. Имитационное моделирование электропривода задвижки .....	50
5.1 Имитационная модель частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении .....	50
5.3. Имитационная модель частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении с моделью двигателя в двухфазной системе координат.....	56
5.4 Результаты имитационного моделирования .....	58
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ» .....	62
6.ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	64
6.1.1 Анализ конкурентных технических решений .....	65
6.2 Планирование научно-исследовательских и пуско-наладочных работ .....	67
6.2.1 Планирование научно-исследовательских работ по проекту.....	67
6.2.2 Планирование пуско-наладочных работ.....	70
6.2.3 Состав бригады для проведения ПНР .....	74
6.3Расчет бюджета проекта по внедрению частотного электропривода.....	76
6.3.1 Смета затрат на НИР .....	76
6.3.2Смета затрат на ПНР .....	78
6.3.3Расчет расходов при эксплуатации электропривода (стоимости силовой электроэнергии).....	79
6.3.4Заработная плата обслуживающего персонала.....	79
6.3.5Общая сумма эксплуатационных расходов.....	81

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ» .....	82
7. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ .....	83
Введение.....	83
7.1 Производственная безопасность и обеспечение безопасности.....	83
7.1.1 Анализ вредных факторов.....	83
7.1.2 Анализ опасных факторов.....	86
7.2. Экологическая безопасность.....	88
7.2.1 Воздушный бассейн.....	88
7.3.Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	89
7.3.1 Пожарная безопасность .....	89
7.3.2 Основными факторами, способными привести к чрезвычайным ситуациям техногенного происхождения на объекте, являются: .....	90
7.3.3 Меры предупреждения ЧС.....	90
7.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	91
7.4.1 Правовые нормы трудового законодательства. ....	91
7.4.2 Эргономичность рабочей зоны. ....	92
Заключение .....	94
Conclusion.....	95
Список использованных источников .....	96

## Введение

Современный трубопроводная арматура оснащается электрическим приводом для с целью увеличения надежности, функциональности и быстродействия технологического процесса. Электрический привод переменного тока включает в себя приводной преобразователь частоты со звеном постоянного тока и инвертором с широтно-импульсной модуляцией. В настоящее время наиболее широко применяются преобразователи с автономными инверторами напряжения. Поскольку в качестве источника питания используется 3-х фазная сеть переменного тока, то в состав преобразователя частоты входит 3-х фазный управляемый или неуправляемый выпрямитель. В преобразователь встроена система управления электроприводом с микропроцессорным управлением и внешним интерфейсом, обеспечивающим пользователю широкие возможности практического применения. Набор имеющихся аппаратных средств в сочетании с встроенным программным обеспечением позволяет реализовать различные конфигурации электропривода от простейших разомкнутых систем до сложных замкнутых систем регулирования скорости и положения.

Если к приводу не предъявляются жестких требований в отношении диапазона и точности регулирования скорости, используются простейшие системы регулирования без обратной связи по скорости, работающие по принципу  $U/f$ - регулирования при различных соотношениях между напряжением и частотой. Расширение диапазона регулирования достигается применением ИР-компенсации путем увеличения напряжения в области низких скоростей и компенсации скольжения путем увеличения частоты с ростом нагрузки.

При больших диапазонах регулирования скорости и высоких требованиях к динамике применяется векторное управление без датчиков и с датчиками обратной связи. Векторное управление с датчиком обратной связи по скорости позволяет получить диапазон регулирования не менее 1000 при постоянной перегрузочной способности привода и высоких динамических показателях. Способность такого привода поддерживать момент на валу при скорости равной

нулю позволяет использовать его в системах управления положением при активной нагрузке.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. Выбрать электродвигатель и преобразователь частоты, построить механические и электромеханические характеристики электродвигателя.
2. Разработать структурную схему САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода с векторным управлением, произвести оптимизацию контуров регулирования.
3. Разработать имитационную модель в программной среде Matlab, позволяющую исследовать электропривод механизма клиновой задвижки.



## **1. Технологический процесс**

### **1.1 Назначение и технические характеристики клиновой задвижки ЗКЛП 200-16**

Трубопроводной арматурой называют устройства, монтируемые на трубопроводах, котлах, аппаратах, агрегатах, емкостях и других установках, предназначенные для управления потоками сред путем отключения трубопроводов или их участков, распределение потоков по требуемым направлениям, регулирования различных параметров среды (давления  $P$ , расхода  $G$ , температуры  $T$  и т.д.), выпуска среды по требуемому направлению и т.д. путем изменения проходного сечения в рабочем органе арматуры [8].

Арматура - неотъемлемая часть любой трубопроводной системы. Расходы на нее составляют, как правило, 10-12% капитальных вложения и эксплуатационных затрат. При работе в различных системах арматура подвергается самым различным воздействиям: высоким и низким температурам, значительным давлениям, вибрациям, воздействию агрессивных жидкостей. Вследствие этого требования, предъявляемые к арматуре, чрезвычайно разнообразны. Основные из них - прочность, увеличение срока службы, надежность и долговечность, низкая стоимость и технологичность изготовления, взрывобезопасность, коррозионная стойкость - являются противоречивыми и не могут быть обеспечены одновременно. Поэтому на сегодняшний день существует огромное количество различных конструкций, каждая из которых представляет определенный компромисс между этими противоречивыми требованиями [9, 10].

Задвижки имеют затвор в виде листа, диска или клина, перемещающийся вдоль уплотнительных поверхностей седла корпуса перпендикулярно оси потока среды.

Седло клиновой задвижки представляет из себя две кольцевые поверхности, расположенные под небольшим углом по отношению к оси движения потока, образуя клиновую поверхность. Затвор представляет из себя

одну или две тарелки (диска), закрепленные на шпинделе. Он бывает однодисковый или двухдисковый, упругий или сплошной. При перемещении затвора в конце хода при приближении к положению «закрыто» тарелки задвижки примыкают к седлу и за счет наличия клиновой поверхности плотно прижимаются к нему, будучи расклинены за счет усилия, создаваемого при движении шпинделя.

Преимуществом задвижек является то, что при перемещении рабочего органа он не преодолевает давления среды, что позволяет уменьшить усилие, необходимое для перемещения затвора. Преимуществом является так же то, что поток движется прямоточно, без поворотов, вследствие чего этот тип трубопроводная арматура имеет малое значение коэффициента местного сопротивления в открытом положении.

Благодаря симметричности конструкции задвижки могут эксплуатироваться при любом направлении движения потока.

Недостатком задвижек является сильное трение уплотнительных поверхностей в момент перемещения рабочего органа, большой габарит в направлении выдвижения штока (как минимум два диаметра трубопровода). Существенным недостатком задвижек является то, что в промежуточном положении затвора, когда тарелки частично перекрывают сечение седла, часть уплотнительных кольцевых поверхностей находится в зоне активного обтекания потоком и подвергается сильному абразивному износу твердыми включениями, содержащимися в рабочей среде. После работы в таком режиме уплотнительные поверхности изнашиваются настолько, что не обеспечивают достаточной герметичности при закрытии задвижки - задвижка «не держит».

Задвижки используются на крупных трубопроводах диаметром более 50 мм, где требуется медленное перекрытие сечения для предотвращения возникновения гидравлического удара.

В данном дипломном проекте рассматривается привод для механизма клиновой задвижки ЗКЛП 200-16 (рис. 1).

Таблица 1 – Основные характеристики клиновой задвижки ЗКЛП 200-16

Диаметр задвижки, мм	Крутящий момент, кгс·м	Частота вращения шпинделя, об/мин	Время полного закрытия или открытия, с
200	10-30	50	44



Рисунок 1 – Внешний вид клиновой задвижки ЗКЛП 200-16

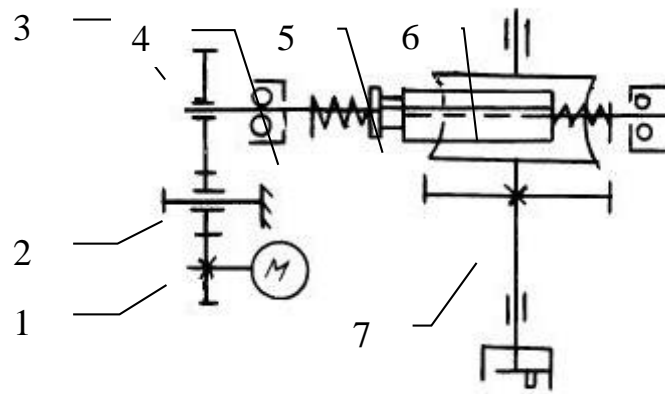


Рисунок 2 – Кинематическая схема привода клиновой задвижки

При пуске электродвигателя вращение в выходному валу 7 передаётся через цилиндрические колёса 1, 2, 3, шлицевый вал 4, червячный вал 5 и червячное колесо 6.

## 1.2 Определение области работы регулируемого электропривода

Область работы электропривода ограничена:

- максимальной скоростью  $\omega_{ЭП.макс} = 146 \text{ рад / с}$ ;
- интервалом изменения полезной нагрузки  $M_{с.мин} \div M_{с.макс}$  где

$$M_{с.макс} = 8,21 \text{ Нм};$$

$$M_{с.мин} = M_{с.хх} = 0,15 \cdot M_{с.макс} = 0,15 \cdot 8,21 = 1,23 \text{ Нм}.$$

Область кратковременной работы привода ограничена:

- максимальной скоростью  $\omega_{ЭП.макс} = 146$ ;
- максимальным моментом электропривода

$$M_{ЭП.макс} = 1,6 \cdot M_{с.макс} = 1,6 \cdot 8,21 = 13,15 \text{ Нм}.$$

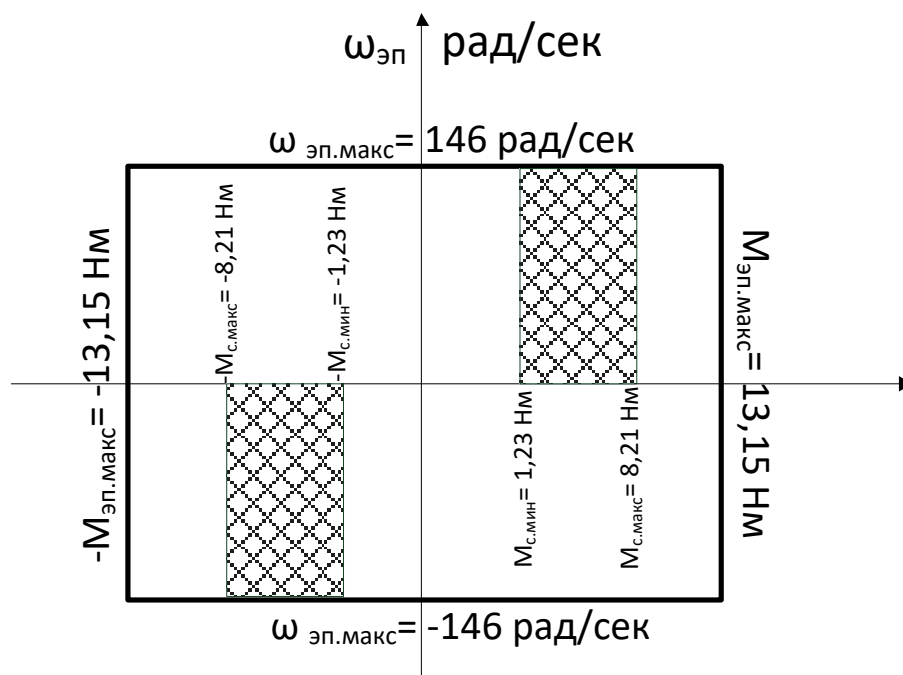


Рисунок 3 – Заданная область работы электропривода

## **2. Выбор электрооборудования, расчет параметров элементов и характеристик**

### **2.1 Схема реализации силовой части регулируемого электропривода с преобразователем частоты**

В основе принципа векторной широтно-импульсной модуляции лежит представление о независимых базовых векторах напряжения, т.е. пространственных векторах, которые могут быть сформированы из трехфазных напряжений, действующих на выходах автономного инвертора напряжения. Каждое из напряжений, может принимать одно из пяти возможных значений, в отличие от распространенных пространственных векторов, которые в установившемся режиме равномерно вращаются в электрическом пространстве, шесть возможных нулевых комбинаций включенных состояний ключей инвертора создают шесть фиксированных положений пространственного вектора выходного напряжения. Из одного положения в другое вектор перемещается скачком, поворачиваясь при каждом последовательном переключении ключей инвертора на 60 градусов. Каждое из шести положений пространственного вектора рассматривается как самостоятельный вектор. Кроме того, есть два положения, при которых включены все три ключа нечетной группы или три ключа четной группы. При этом напряжение на выходе инвертора равно нулю. По аналогии с нулевыми векторами, такому состоянию ключей соответствует нулевой вектор. Шесть нулевых векторов и два нулевых вектора называются базовыми векторами напряжения. Данный способ регулирования ЭП переменного тока является наилучшим для положения системы в целом.

Для реализации векторной системы управления электроприводом воспользуемся схемой преобразователя частоты на рис. 4. Преобразователь состоит из неуправляемого диодного силового выпрямителя, автономного инвертора, системы управления ШИМ, системы автоматического

регулирования, дросселя  $L$  и конденсатора фильтра  $C$ . Регулирование выходной частоты  $f_{\text{вых}}$  и напряжения  $U_{\text{вых}}$  осуществляется в инверторе за счет высокочастотного широтно-импульсного управления.

Широтно-импульсное управление характеризуется периодом модуляции, внутри которого обмотка статора электродвигателя подключается поочередно к положительному и отрицательному полюсам выпрямителя.

Длительность этих состояний внутри периода ШИМ модулируется по синусоидальному закону. При высоких (обычно 2...15 кГц) тактовых частотах ШИМ, в обмотках электродвигателя, вследствие их фильтрующих свойств, протекают синусоидальные токи.

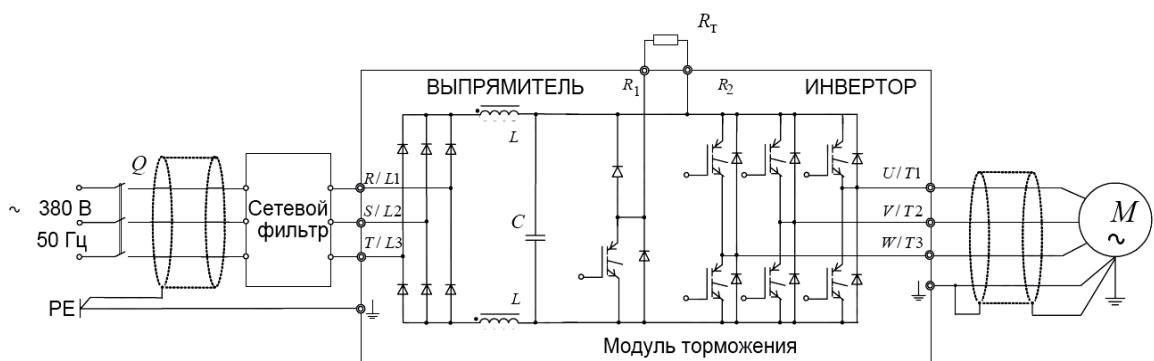


Рисунок 4 – Схема силовой части регулируемого электропривода с преобразователем частоты

## 2.2 Определение параметров схемы замещения электродвигателя

Задвижка ЗКЛП 200-16 с электроприводом оснащается асинхронным двигателем АИМ-80В4, мощностью 1,5 кВт. Технические данные двигателя АИМ-80В4 представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Технические данные электродвигателя

Тип двигателя	$n_{\text{ном}},$ об/мин	$U_{\text{лн}},$ В	$P_{\text{дв.н}},$ кВт	При номинальной нагрузке			$s_K, \%$	$J_{\text{дв}}, \text{кг} \cdot \text{м}^2$
				$s_H, \%$	$\cos \varphi_H$	$\eta, \%$		
АИМ-80В4	1500	380	1,5	7	0,80	80,3	42,7	0,0034
$m_{\text{п}} = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_H}$		$m_K = \frac{M_{\text{макс}}}{M_H}$		$m_M = \frac{M_{\text{мин}}}{M_H}$		$k_{\text{дв}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_H}$	Степень защиты	
1,8		2,3		1,3		5,1		

Номинальная частота вращения двигателя:

$$n_{дв.н} = (1 - s_H) n_0 = (1 - 0.07) \cdot 1500 = 1395 \text{ об / мин}$$

$$\omega_{дв.н} = \pi \frac{n_{дв.н}}{30} = 3.14 \cdot \frac{1395}{30} = 146,01 \text{ рад / с}$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_{дв.н} = \frac{P_H \cdot 10^3}{\omega_{дв.н}} = \frac{1,5 \cdot 10^3}{146,01} = 10,273 \text{ Нм}$$

Номинальное фазное напряжение при соединении обмоток в звезду:

$$U_{\phi H} = \frac{U_H}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В}$$

Номинальный фазный ток при соединении обмоток в звезду:

$$I_{1\phi H} = I_{ЛН} = \frac{P_H}{3 \cdot U_{\phi H} \cdot \eta \cdot \cos \psi} = \frac{1500}{3 \cdot 220 \cdot 0,803 \cdot 0,80} = 3,538 \text{ А}$$

Максимальный потребляемый ток двигателя при пуске:

$$I_{МАКС} = k_{дв} I_{ЛН} = 5,1 \cdot 3,538 = 18,043 \text{ А}$$

Критический момент двигателя на естественной характеристике:

$$M_K = m_k \cdot M_{дв.н} = 2,3 \cdot 10,273 = 23,629 \text{ Нм}$$

Пусковой момент при прямом пуске:

$$M_{дв.ПУСК} = m_{П} \cdot M_{дв.н} = 1,8 \cdot 10,273 = 18,492 \text{ Нм}$$

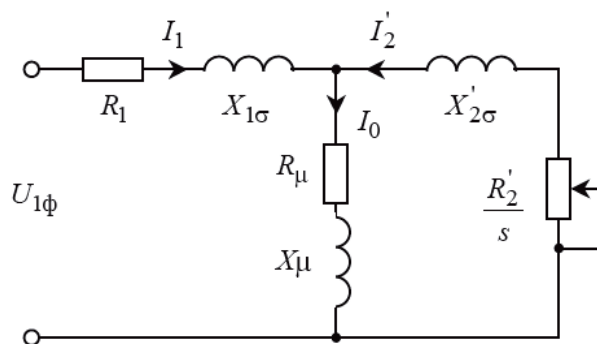


Рисунок 5 – Т-образная схема замещения асинхронного двигателя для одной фазы

Ток холостого хода асинхронного двигателя:



$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - [p' \cdot I_{1H}(1-s_n) / (1-p' \cdot s_n)]^2}{1 - [p'(1-s_n) / (1-p' \cdot s_n)]^2}} =$$

$$= \sqrt{\frac{2,823^2 - [0,75 \cdot 3,538(1-0,07) / (1-0,75 \cdot 0,07)]^2}{1 - [0,75(1-0,07) / (1-0,75 \cdot 0,07)]^2}} = 1,608 \text{ A}$$

где  $I_{1H}$  - номинальный ток статора двигателя:

$$I_{1H} = \frac{P_H}{m \cdot U_{\phi H} \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{1500}{3 \cdot 220 \cdot 0,80 \cdot 0,803} = 3,538 \text{ A}$$

$m=3$  – число фаз асинхронного двигателя;

$I_{11}$  – ток статора двигателя при частичной нагрузке;

$$I_{11} = \frac{p' \cdot P_H}{m \cdot U_{\phi H} \cdot \cos \varphi_{p'} \cdot \eta_{p'}} = \frac{0,75 \cdot 1500}{3 \cdot 220 \cdot 0,752 \cdot 0,803} = 2,823 \text{ A}$$

$\cos \varphi_{p'}$  - коэффициент мощности при частичной нагрузке

$$\cos \varphi_{p'} = 0,94 \cdot \cos \varphi = 0,752 \text{ o.e.}$$

$\eta_{p'} = \eta_H = 0,803 \text{ o.e.}$  - КПД при частичной нагрузке;

$p' = 0,75 \text{ o.e.}$  - коэффициент загрузки двигателя.

Критическое скольжение:

$$s_k = s_H \frac{m_k + \sqrt{m_k^2 - [1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (m_k - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (m_k - 1)} =$$

$$= 0,07 \frac{2,3 + \sqrt{2,3^2 - [1 - 2 \cdot 0,07 \cdot 1,5 \cdot (2,3 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,07 \cdot 1,5 \cdot (2,3 - 1)} = 0,427 \text{ o.e.}$$

где  $m_k$  – кратность максимального момента;

значение коэффициента  $\beta$ , находится в диапазоне  $0,6 \div 2,5$ . Принимаем  $\beta=1,5$ .

Определим коэффициенты:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_{\partial\partial} \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{1,608}{2 \cdot 5,1 \cdot 3,538} = 1,045 \text{ o.e.};$$

где  $k_{\partial\partial}$  – кратность пускового тока.

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{\phi H}^2 \cdot (1-s_n)}{2 \cdot C_1 \cdot m_k \cdot P_H} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1-0,07)}{2 \cdot 1,045 \cdot 2,3 \cdot 1500} = 18,735 \text{ o.e.}$$

$$\gamma = \sqrt{(1/s_k^2) - \beta^2} = \sqrt{(1/0,427) - 1,5^2} = 1,798 \text{ o.e.}$$

Тогда

$$X_{KH} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 1,798 \cdot 1,045 \cdot 4,669 = 8,767 \text{ Ом}$$

Индуктивное сопротивление рассеяния фазы роторной обмотки, приведенное к статорной:

$$X_{2\sigma}' = 0,58 \cdot X_{KH} / C_1 = 0,58 \cdot 8,767 / 1,045 = 4,868 \text{ Ом}$$

Индуктивное сопротивление рассеяния фазы статорной обмотки:

$$X_{1\sigma} = 0,42 \cdot X_{KH} = 0,42 \cdot 8,767 = 3,682 \text{ Ом}$$

ЭДС ветви намагничивания  $E_m$ , наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме, равна

$$\begin{aligned} E_m &= \sqrt{\left( U_{\phi H} \cdot \cos \varphi_{1H} - R_1 \cdot I_{1H} \right)^2 + \left( U_{\phi H} \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{1H}} + X_{1\sigma} \cdot I_{1H} \right)^2} = \\ &= \sqrt{\left( 220 \cdot 0,80 - 7,316 \cdot 3,538 \right)^2 + \left( 220 \cdot \sqrt{1 - 0,80^2} - 3,682 \cdot 3,538 \right)^2} = 208,729 \text{ В} \end{aligned}$$

Тогда индуктивное сопротивление контура намагничивания

$$X_{\mu} = \frac{E_m}{I_o} = \frac{208,769}{1,608} = 129,769 \text{ Ом}$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{3,682}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,012 \text{ Ом}$$

Приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния

$$L_{2\sigma}' = \frac{X_{2\sigma}'}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{4,868}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,016 \text{ Ом}$$

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре, создаваемым суммарным действием токов статора (индуктивность контура намагничивания),

$$L_{\mu} = \frac{X_{\mu}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{129,769}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,413 \text{ Ом}$$

Таблица 3– Параметры схемы замещения электродвигателя

$R_1$ ,	$X_{1\sigma}$ ,	$L_{1\sigma}$ ,	$X_{\mu}$ ,	$L_{\mu}$ ,	$R_2'$ ,	$X_{2\sigma}'$ ,	$L_{2\sigma}'$ ,	$X_{KH}$ ,
---------	-----------------	-----------------	-------------	-------------	----------	------------------	------------------	------------

Ом	Ом	мГн	мГн	Гн	Ом	Ом	мГн	Ом
7,316	3,682	0,012	129,769	0,413	4,669	4,868	0,016	8,767

## 2.3 Выбор типа преобразователя и способа регулирования скорости

Параметры питающей сети: 3-х фазная сеть 380/220 В, 50Гц

Выходные параметры преобразователя частоты:

- максимальная выходная частота

$$f_{П.МАКС} > 50 \frac{\omega_{ЭП.макс}}{\omega_0(1-s_K)};$$

$$50 \frac{\omega_{ЭП.макс}}{\omega_0(1-s_K)} = 50 \cdot \frac{146}{146 \cdot (1-0,427)} = 81,16 \text{ Гц};$$

$$f_{П.МАКС} > 81,16 \text{ Гц}.$$

- минимальная выходная частота преобразователя

$$f_{П.МИН} < 50 \frac{\omega_{ЭП.мин}}{\omega_0};$$

$$50 \cdot \frac{\omega_{ЭП.мин}}{\omega_0} = 50 \cdot \frac{54}{157} = 17,97 \text{ Гц};$$

$$f_{П.МИН} < 17,97 \text{ Гц}.$$

Длительно допустимый ток

$$I_{П.Н} \geq I_{1ФН} \frac{M_{с макс}}{M_{ДВ.Н}}$$

$$I_{1ФН} \cdot \frac{M_{с макс}}{M_{ДВ.Н}} = 3,538 \cdot \frac{8,22}{10,273} = 2,83 \text{ А}$$

$$I_{П.Н} \geq 2,83 \text{ А}$$

Кратковременно допустимый ток

$$I_{П.МАКС} \geq I_{1ФН} \frac{M_{ЭПмакс}}{M_{ДВ.Н}}$$

$$I_{1ФН} \frac{M_{ЭПмакс}}{M_{ДВ.Н}} = 3,538 \cdot \frac{13,15}{10,273} = 4,528 \text{ А}$$

$$I_{П.МАКС} \geq 4,528 \text{ А}$$

Преобразователь частоты выбираем:

- по номинальному и максимальному кратковременному току

- по выходным параметрам частоты
- по параметрам питающей сети

Таблица 4 - Способ управления

Способ управления	Диапазон регулирования
Векторное управление, без датчика скорости (с внутренней моделью)	100 - 120

Выбираем преобразователь частоты фирмы Schneider-Electric серии ALTIVAR 31. Технические параметры представлены в таблице 5. Преобразователь частоты ATV31 в защитном кожухе отвечает требованиям применений с тяжелыми условиями эксплуатации, для которых необходима степень защиты IP 55. Защищенный ПЧ может устанавливаться в непосредственной близости от двигателя.

Таблица 5 - Параметры преобразователя частоты

Тип	Параметры питающей сети		Выходное напряжение	Выходная частота	Выходной ток		Рекомендуемая мощность двигателя
	$U_{ЛЛ}$	$f_c$	$U_H$	$f_H$	$I_{H.H}$	$I_{H.МАКС}$	$P_2$
	В	Гц	В	Гц	А	А	кВт
ATV31 CU15N4	3x380	50/60	380..500	0.5..500	4,1	6,2	1,5
$f_{ШИМ} = 8 \text{ кГц}$							
Степень защиты – IP55							

## 2.4 Выбор структурной схемы силового канала электропривода

В первом приближении воспользуемся упрощенной структурной схемой силового канала электропривода, изображенной на рис. 6. В данном случае асинхронный двигатель представлен апериодическим звеном первого порядка.

Далее после настройки расчета регуляторов и настройки контуров регулирования воспользуемся моделью асинхронного двигателя в двухфазной системе координат (рис. 7).

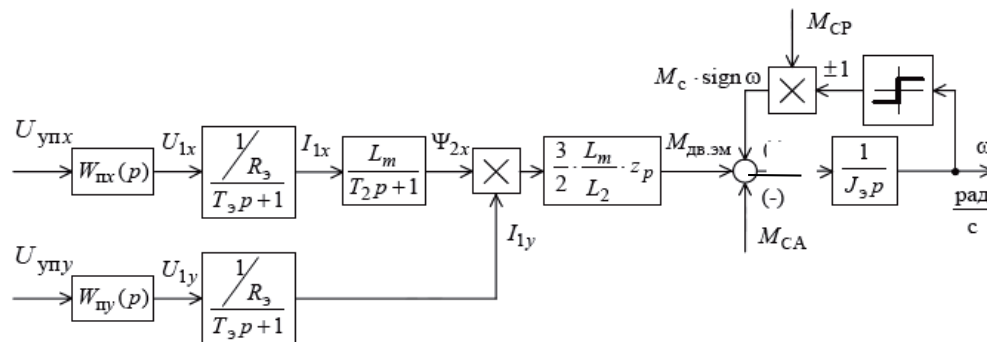


Рисунок 6 – Упрощенная структурная схема силового канала системы преобразователь -асинхронный электродвигатель

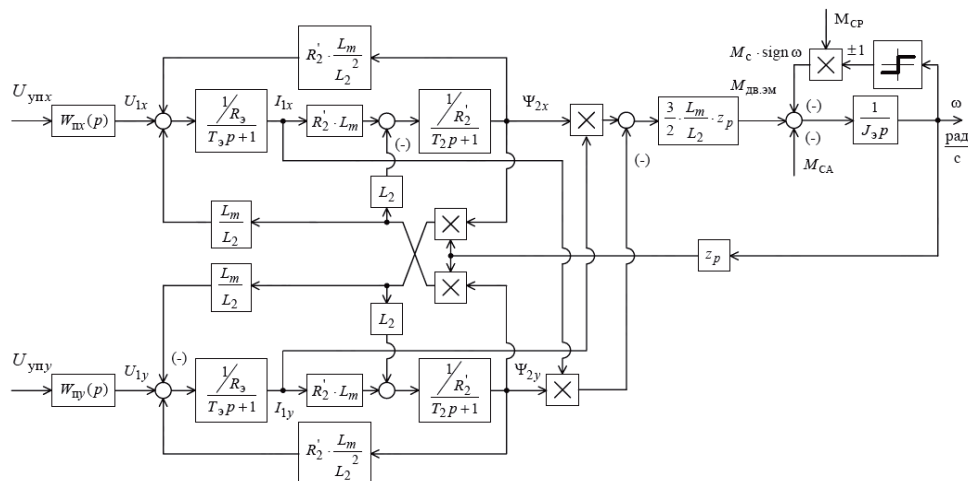


Рисунок 7 – Структурная схема силового канала системы преобразователь – асинхронный электродвигатель в двухфазной неподвижной системе координат

### 3. Расчет статических и предельных характеристик разомкнутой системы ПЧ-АД

#### 3.1 Расчет дополнительных параметров двигателя и преобразователя

Проведем расчет дополнительных параметров преобразователя. Максимальное значение коэффициента усиления преобразователя

$$k_H = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{1\Phi H}}{U_{уп.макс}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 220}{10} = 31,11.$$

где  $U_{уп.макс}$  - максимальное значение напряжения управления.

Принимаем  $U_{уп.макс} = 10B$

Эквивалентная постоянная времени преобразователя

$$T_H = \frac{0,5}{f_{ШИМ}} = \frac{0,5}{8000} = 6,25 \cdot 10^{-5} c.$$

Проведем расчет дополнительных параметров двигателя. Эквивалентные индуктивности обмоток:

-статора  $L_1 = L_{1\sigma} + L_\mu = 0,012 + 0,413 = 0,425 \Gamma H,$

-ротора  $L_2 = L'_{2\sigma} + L_\mu = 0,016 + 0,413 = 0,429 \Gamma H,$

Коэффициент рассеяния

$$\sigma = 1 - \frac{L_\mu^2}{L_1 L_2} = 1 - \frac{0,413^2}{0,425 \cdot 0,429} = 0,063 o.e.,$$

Эквивалентное сопротивление

$$R_\Sigma = R_1 + R'_2 \frac{L_\mu^2}{L_2^2} = 7,316 + 4,669 \frac{0,413^2}{0,429^2} = 11,654 \text{ Ом},$$

Электромагнитные постоянные времени

$$T_\Sigma = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_\Sigma} = \frac{0,063 \cdot 0,425}{11,654} = 2,288 \cdot 10^{-3} c,$$

$$T_2 = \frac{L_2}{R'_2} = \frac{0,429}{4,669} = 0,092 c,$$

Расчет параметров механизма

$$J_M = 0,5 \cdot J_{дв} = 0,5 \cdot 3,4 \cdot 10^{-3} = 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

Эквивалентный момент инерции привода

$$J_{\Sigma} = J_{дв} + J_M = 3,4 \cdot 10^{-3} + 1,7 \cdot 10^{-3} = 5,1 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

### 3.2 Естественные механическая и электромеханическая характеристики электропривода

Механическая характеристика  $M(s)$  системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель рассчитывается для частоты  $f_H = f_{1H} = 50 \text{ Гц}$  по выражению

$$M(s) = \frac{3U_{1\Phi H}^2 R'_2}{\omega_0 s \left[ (X_{KH})^2 + \left( R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left( \frac{R_1 R'_2}{s X_{\mu}} \right)^2 \right]}$$

По результатам расчета строится механическая характеристика  $\omega(M)$ , где

$$\omega = \omega_0(1-s)$$

$$\begin{aligned} M_{\Sigma M.H} &= \frac{3 \cdot U_{1\Phi H}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot s_H \left[ X_{KH}^2 + \left( R_1 + \frac{R'_2}{s_H} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R'_2}{s_H \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} = \\ &= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 4,669}{157 \cdot 0,07 \left[ 8,55^2 + \left( 7,316 + \frac{4,669}{0,07} \right)^2 + \left( \frac{7,316 \cdot 4,669}{0,07 \cdot 129,769} \right)^2 \right]} = 11,083 \text{ Нм}; \end{aligned}$$

Момент трения на валу двигателя:

$$M_{с.ДВ} = M_{ЭМ.Н} - M_{ДВ.Н} = 11,083 - 10,273 = 0,81 \text{ Нм.}$$

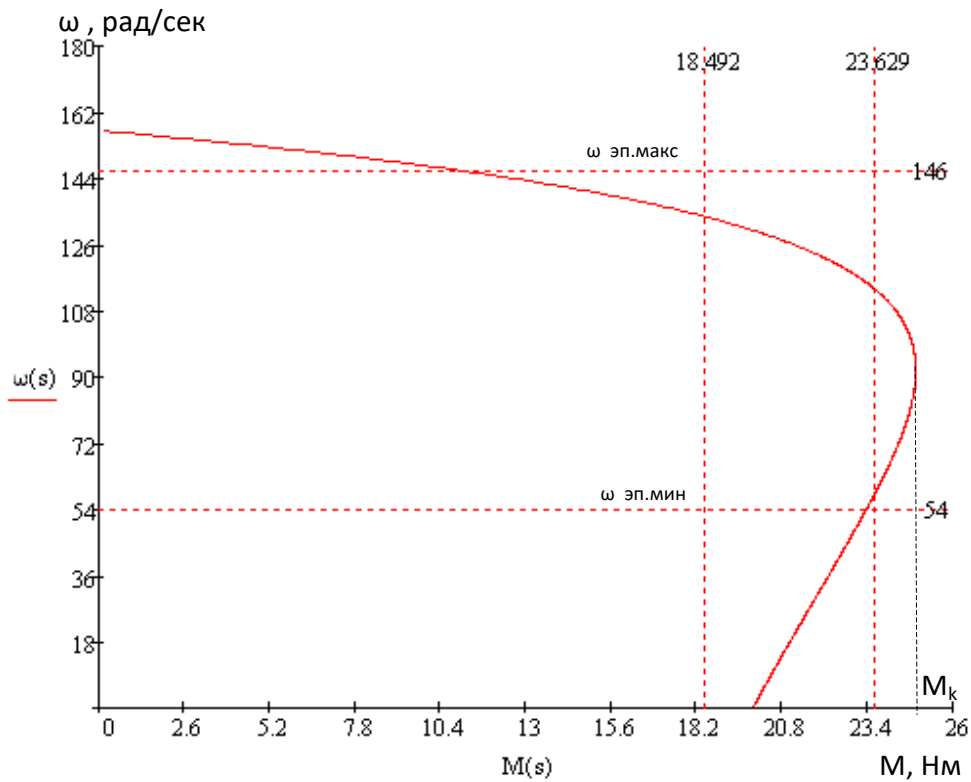


Рисунок 8 - Механическая характеристика АД

2. Электромеханическая характеристика  $I(s)$  системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель рассчитывается для частоты  $f_H = f_{1H} = 50 \text{ Гц}$  по выражению:

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(s) \cdot \sin \phi_2(s)};$$

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\Phi H}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + (X_{KH})^2} + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu}\right)^2};$$

$$\sin \phi_2(s) = \frac{X_{KH}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + (X_{KH})^2}};$$



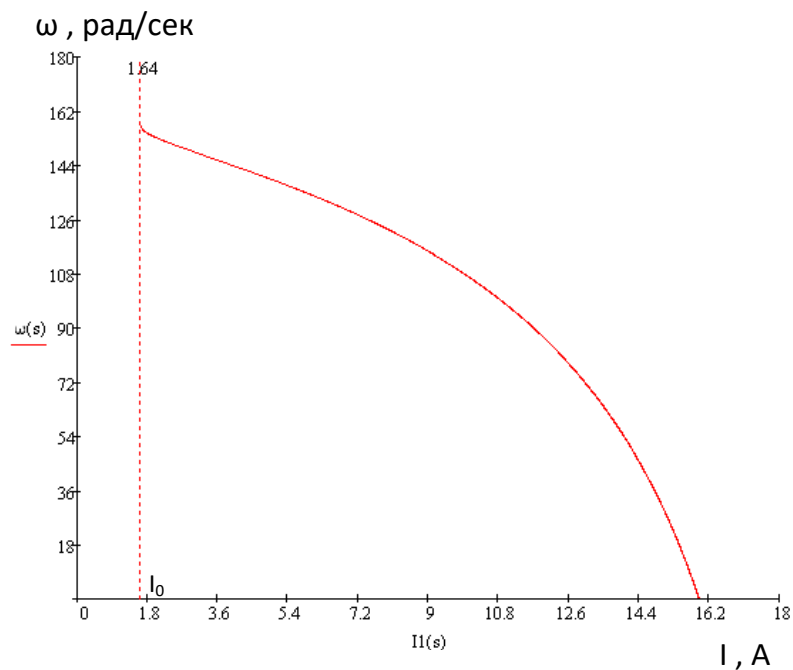


Рисунок 9 – Электромеханические характеристики АД

### 3.3 Определение заданной области работы электропривода

1. На полученную механическую характеристику  $M(\omega)$  наносятся

$$-M_{C.МНН}(\omega) = const;$$

$$-M_{C.МАКС}(\omega) = const;$$

$$-M_{ЭП.МАКС}(\omega) = const.$$

2. Рассчитывается и строится зависимость длительно допустимого момента электродвигателя  $M_{дв.длит.доп}(\omega)$

- в зоне работы с номинальным потоком при  $f_H \leq f_{1H}$

$$M_{дв.длит.доп}(\omega) = M_{двн} \cdot \left( 0,5 + \frac{\omega}{\omega_{двн}} \right) \quad \text{при} \quad \omega \leq 0,5 \cdot \omega_{двн};$$

$$M_{дв.длит.доп}(\omega) = M_{двн} \quad \text{при} \quad 0,5 \cdot \omega_{двн} < \omega \leq \omega_{двн}.$$

Таблица 6 - Результаты расчета зависимости  $M_{дв.длит.доп}(\omega)$

$\omega, \text{ рад / с}$	0	$0,5 \cdot \omega_{\text{ДВ.Н}} = 73$	$\omega_{\text{ДВ.Н}} = 146,01$
$M_{\text{ДВ.ДЛИТ.ДОП}}, \text{ Н} \cdot \text{ м}$	8,37	10,273	15,41

- в зоне работы с номинальным потоком при  $f_H \leq f_{1H}, \omega \leq (\omega_0 \cdot (1 - S_K))$ ;

$$M_{\text{ДВ.МАКС}}(W) = M_K \Big|_{f_H=f_{1H}} = \text{const},$$

где

$$M_K = \frac{3 \cdot U_{1\Phi H}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot \left[ R_1 + \sqrt{(R_1^2 + X_{KH}^2) \cdot \left[ 1 + \left( \frac{R_2'}{X_\mu} \right)^2 \right]} \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 157 \cdot \left[ 7,316 + \sqrt{(7,316^2 + 8,55^2) \cdot \left[ 1 + \left( \frac{4,669}{129,769} \right)^2 \right]} \right]} = 24,892 \text{ Н} \cdot \text{ м},$$

- в зоне работы с ослабленным потоком при  $f_H > f_{1H}, (\omega > \omega_0 \cdot (1 - S_K))$

$$M_{\text{ДВ.МАКС}}(\omega) = M_K \cdot \frac{\omega_0 \cdot (1 - S_K)}{\omega}$$

Таблица 7 - Результаты расчета зависимости  $M_{\text{ДВ.МАКС}}(\omega)$

$\omega, \text{ рад / с}$	0.0001	$\omega_0 = 157$
$M_{\text{ДВ.МАКС}}, \text{ Н} \cdot \text{ м}$	24,892	24,892

3. Рассчитывается и строится зависимость допустимого длительного тока электродвигателя  $I_{\text{ДВ.ДЛИТ.ДОП}}(\omega)$

- в зоне работы с номинальным потоком ( $f_H \leq f_{1H}$ )

$$I_{\text{ДВ.ДЛИТ.ДОП}}(\omega) = M_{\text{ДВН}} \cdot \left( 0,5 + \frac{\omega}{\omega_{\text{ДВН}}} \right) \text{ при } \omega \leq 0,5 \cdot \omega_{\text{ДВН}};$$

$$I_{\text{ДВ.ДЛИТ.ДОП}}(\omega) = I_{\text{ДВН}} \text{ при } 0,5 \cdot \omega_{\text{ДВН}} < \omega \leq \omega_{\text{ДВН}}.$$

Таблица 8 - Результаты расчета зависимости  $I_{\text{ДВ.ДЛИТ.ДОП}}(\omega)$

$\omega, \text{ рад / с}$	0	$0,5 \cdot \omega_{\text{ДВ.Н}} = 73$	$\omega_{\text{ДВ.Н}} = 146$
$I_{\text{ДВ.ДЛИТ.ДОП}}, \text{ А}$	2,983	3,538	5,307

4. Рассчитывается и строится зависимость  $I_{C.\max}(\omega)$ , соответствующая длительной максимальной нагрузке  $M_{C.\max}(\omega) = \text{const}$ . Для этого необходимо определить соответствующее  $M_{C.\max}$  значение скольжения,  $s$  решив относительно  $s$  уравнение:

$$\frac{3 \cdot U_{1\Phi H}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot S \cdot \left[ (X_{KH})^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{S} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{S \cdot X_\mu} \right)^2 \right]} = M_{C.\max}$$

И далее рассчитать значение тока  $I_{C.\max} \Big|_{f_H=f_{1H}}$  и скорости  $(\omega_{T5} = \omega_0 \cdot (1 - S))$ .

Зависимость  $I_{C.\max}(\omega)$  рассчитывается по выражениям:

$$I_{C.\max}(\omega) = I_{C.\max} \Big|_{f_H=f_{1H}}$$

Таблица 9 - Результаты расчета зависимости  $I_{C.\max}(\omega)$

$\omega, \text{рад} / \text{с}$	$\omega_{\text{ЭП.МИН}} = 54$	$\omega_{\text{ЭП.МАКС}} = 146$
$I_{C.\max}, \text{А}$	2,76	2,76

5. Рассчитывается и строится зависимость  $I_{\text{ЭП.МАКС}}(\omega)$ , соответствующая длительной максимальной нагрузке  $M_{\text{ЭП.МАКС}}(\omega) = \text{const}$ . Для этого необходимо определить соответствующее  $M_{\text{ЭП.МАКС}}(\omega)$  значение скольжения решив относительно  $S$  уравнение

$$\frac{3 \cdot U_{1\Phi H}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot S \cdot \left[ (X_{KH})^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{S} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{S \cdot X_\mu} \right)^2 \right]} = M_{\text{ЭП.МАКС}}.$$

И далее рассчитать значение тока  $I_{\text{ЭП.МАКС}} \Big|_{f_H=f_{1H}}$ , и скорости  $(\omega = \omega_0 \cdot (1 - s))$

$$I_{\text{ЭП.МАКС}}(\omega) = I_{\text{ЭП.МАКС}} \Big|_{f_H=f_{1H}}$$

Таблица 10 - Результаты расчета зависимости  $I_{\text{ЭП.МАКС}}(\omega)$

$\omega, \text{рад} / \text{с}$	$\omega_{\text{ЭП.МИН}} = 54$	$\omega_{\text{ЭП.МАКС}} = 146$
$I_{\text{ЭП.МАКС}}, \text{А}$	4,132	4,132

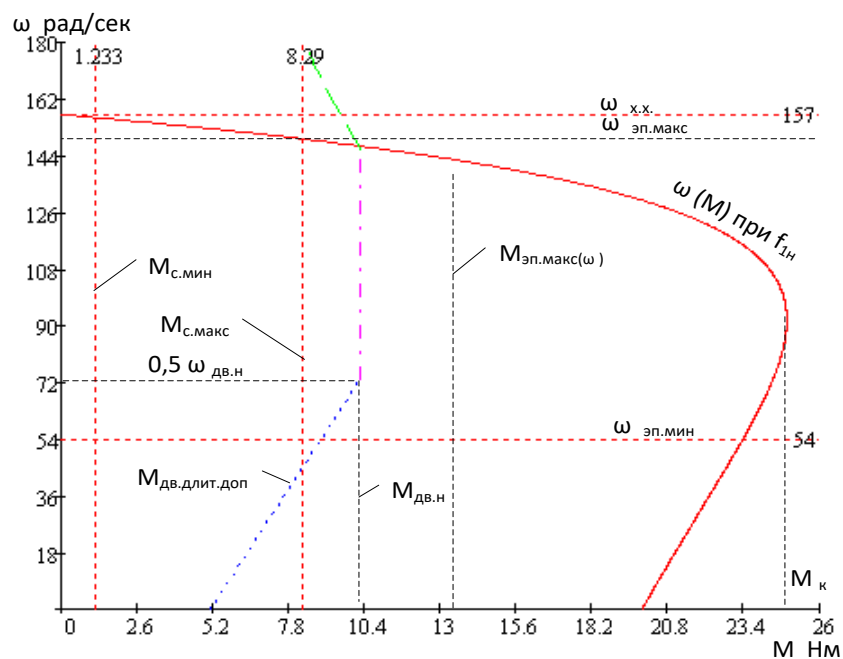


Рисунок 10 - Механическая характеристика электропривода и нагрузки при векторном управлении

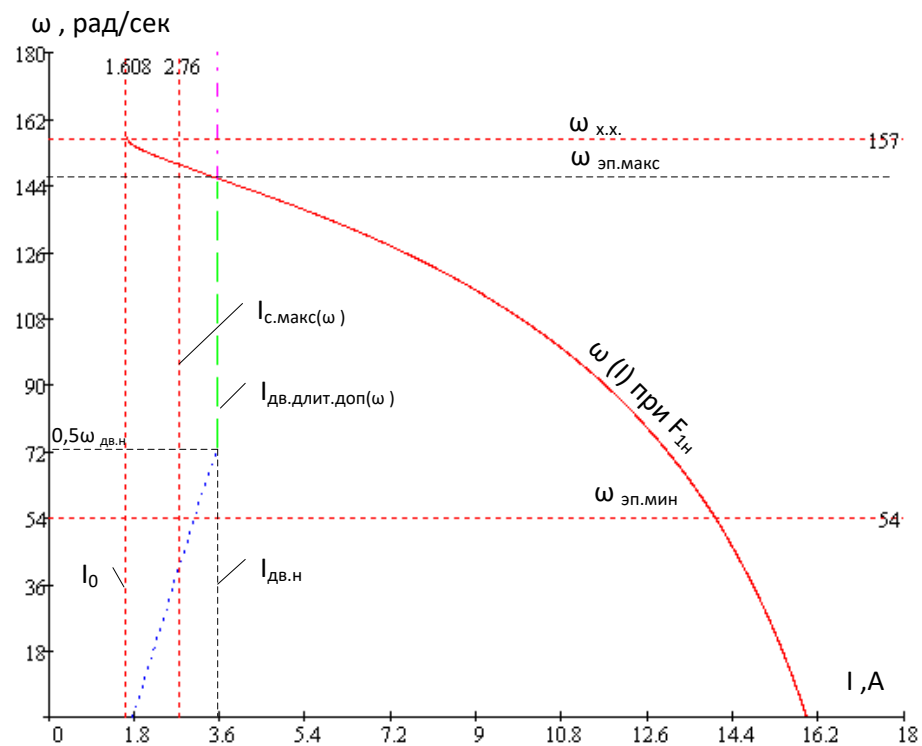


Рисунок 11 - Электромеханическая характеристика электропривода и нагрузки при векторном управлении

### Проверка правильности выбора двигателя

По результатам построения механических и электромеханических характеристик электропривода (рис. 10-11) проверяется правильность выбора двигателя

$$M_{\text{дв.длит.доп}}(\omega) \geq M_{\text{с.макс}} \quad 8,37...15,41 \text{ Н} \cdot \text{м} \geq 8,29 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{дв.макс}}(\omega) \geq M_{\text{эп.макс}} \quad 24,892 \text{ Н} \cdot \text{м} \geq 13,15 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$I_{\text{дв.длит.доп.}}(\omega) \geq I_{\text{с.макс}} \quad 2,983...5,307 \text{ А} \geq 2,76 \text{ А}$$

### Проверка правильности выбора преобразователя

По результатам построения механических и электромеханических характеристик электропривода (рис. 8-9 ) проверяется правильность выбора преобразователя

$$I_{\text{с.макс}}(\omega) \leq I_{\text{и н}}, \quad 2,76 \text{ А} \leq 4,1 \text{ А};$$

$$I_{\text{эп макс}}(\omega) \leq I_{\text{и макс}}, \quad 4,132 \text{ А} \leq 6,2 \text{ А}.$$



$$T_{\mu To} = \frac{T_{cT}}{3} = 3,333 \cdot 10^{-3} \text{ - малая постоянная времени цепи обратной связи по}$$

току, с.

$$T_{c\Psi} = (16 \cdot \frac{1}{f_{\text{шум}}}) \cdot n_{\Psi} = 0,01 \text{ - период расчета потокосцепления, с.}$$

Принимаем  $n_T = 5$ .

$$T_{\mu \Psi o} = \frac{T_{c\Psi}}{3} = 2,667 \cdot 10^{-3} \text{ - малая постоянная времени цепи обратной связи по}$$

потокосцеплению, с.

$$T_{cc} = (16 \cdot \frac{1}{f_{\text{шум}}}) \cdot n_c = 0,01 \text{ - период расчета (измерения) скорости, с.}$$

Принимаем  $n_c = 5$ .

$$T_{\mu co} = \frac{T_{cc}}{3} = 3,333 \cdot 10^{-3} \text{ - малая постоянная времени цепи обратной связи по}$$

скорости, с.

Для настройки контуров регулирования необходимо определить следующие дополнительные параметры системы:

– значение номинального потокосцепления двигателя

$$\psi_{2XH} = \frac{M_{\text{эм.н}}}{\frac{3}{2} z_p \frac{L_{\mu}}{L_2} \sqrt{2} \sqrt{I_1^2(s_n) - I_0^2}} = \frac{11,083}{\frac{3}{2} \cdot 2 \cdot \frac{0,413}{0,429} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{3,538^2 - 1,646^2}} = 0,86 \text{ Вб}$$

– максимально допустимое значение тока при постоянном токоограничении

$$I_{\text{ЭП.макс}} = \text{const}$$

$$I_{1Y.MAKC} = \sqrt{2} \sqrt{I_{\text{ЭП.макс}}^2 - I_0^2} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{325,555^2 - 1,664^2} = 25,41 \text{ A}$$

– максимально допустимое значение тока при зависимом токоограничении

$$M_{\text{ЭП.макс}} = \text{const}$$

$$I_{1Y.MAKC} = \sqrt{2} \sqrt{I_{1MAKC}^2 - (I_0 \cdot \frac{\omega_{T.15}}{\omega_{T.14}})^2} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{325,555^2 - 1,618^2} = 25,41 \text{ A}$$

## 4.2 Оптимизация контуров регулирования

Характерной особенностью частотно-регулируемых электроприводов переменного тока является относительно большая инерционность в цепи обратной связи контуров регулирования тока, потокосцепления и скорости.

### Оптимизация контура тока с инерционной обратной связью и ПИ-регулятором

Структурная схема контура тока с инерционной обратной связью и полной компенсацией внутренней отрицательной обратной связи по ЭДС двигателя приведена на рис. 13. Контуров токов и идентичные.

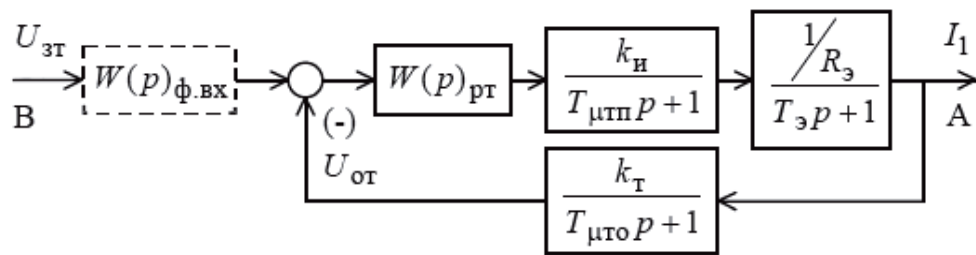


Рисунок 13 - Структурная схема контура тока.

$U_{3T} = 10\text{ В}$  - напряжение задания на ток;

$T_{\mu\pi\pi} = T_{\pi} = \frac{0,5}{f_{\text{ШИМ}}} = 6,25 \cdot 10^{-5} \text{ с}$  - малая постоянная времени в прямом канале;

$T_{\text{э}} = 2,288 \cdot 10^{-3} \text{ с}$  - постоянная времени регулятора;

$k_T = \frac{U_{\text{ЭТ.МАКС}}}{I_{\text{У.МАКС}}} = \frac{10}{25,41} = 0,393$  - коэффициент обратной связи по току, В/А;

$k_{\text{рп}} = \frac{T_{\text{э}} \cdot R_{\text{э}}}{k_{\text{н}} \cdot k_{\text{т}} \cdot a_{\text{т}} \cdot T_{\mu\tau\text{э}}} = 2,752$  - коэффициент усиления регулятора тока;

$a_{\text{т}}$  - коэффициент оптимизации.

$k_{\text{н}} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{1\text{ФН}}}{U_{\text{УП.МАКС}}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 220}{10} = 31,113$  - максимальный коэффициент регулятора;

$R_{\text{э}} = 11,654 \text{ Ом}$  - эквивалентное сопротивление;

Постоянная времени регулятора  $T_{\text{рп}} = T_{\text{э}}$



Для уменьшения перерегулирования на входе контура устанавливаем фильтр с передаточной функцией:

$$W(p)_{\phi.вх} = \frac{1}{T_{\phi.вх2}p + 1}$$

постоянная времени которого равна  $T_{\phi.вх2} = T_{\mu To} = 3,333 \cdot 10^{-4}$  с.

Контур тока имеет следующую передаточную функцию разомкнутого контура

$$W(p)_{раз.Т} = \frac{1}{a_T \cdot T_{\mu ПП} \cdot T_{\mu To} \cdot T_{\mu Тэ} \cdot p^3 + a_T \cdot T_{\mu Тэ}^2 \cdot p^2 + a_T \cdot T_{\mu Тэ} \cdot p}$$

Передаточная функция по управлению замкнутого контура тока с фильтром на входе имеет вид:

$$W(p)_{Т.зам} = \frac{\frac{1}{k_T} \cdot (T_{\mu To} \cdot p + 1)}{a_T \cdot T_{\mu ПП} \cdot T_{\mu To} \cdot T_{\mu Тэ} \cdot p^3 + a_T \cdot T_{\mu Тэ}^2 \cdot p^2 + a_T \cdot T_{\mu Тэ} \cdot p + 1} \approx$$

$$\approx \frac{\frac{1}{k_T} \cdot (T_{\mu To} \cdot p + 1)}{a_T \cdot T_{\mu Тэ}^2 \cdot p^2 + a_T \cdot T_{\mu Тэ} \cdot p + 1}$$

где,  $T_{\mu Тэ} = T_{\mu ПП} + T_{\mu To} = 3,958 \cdot 10^{-4}$  - эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура, с;

Настройка контура близка к настройке на модульный оптимум системы второго порядка. Контур является астатической системой регулирования первого порядка по управлению. Ожидаемые показатели качества работы замкнутого контура тока по управлению с фильтром на входе:

- установившаяся ошибка  $\Delta I_{уст} = 0$
- полоса пропускания по модулю и фазе

$$\omega_{П}^{(\phi)} = \omega_{П}^{(м)} = \frac{0,71}{T_{\mu ПП} + T_{\mu To}} = 1,794 \cdot 10^3 \frac{рад}{с}$$

- перерегулирование и время первого и окончательного вхождения в 5 % зону при отработке ступенчатого управляющего воздействия

$$\sigma \approx 4,3\% \quad t_{py1} = t_{py2} \approx 4,1 \cdot (T_{\mu ПП} + T_{\mu To}) = 1,623 \cdot 10^{-3}$$

На рис. 14 представлена имитационная модель контура тока, а на рис. 15-17 результаты моделирования. В табл. 11 сведены полученные показатели качества работы контура тока.

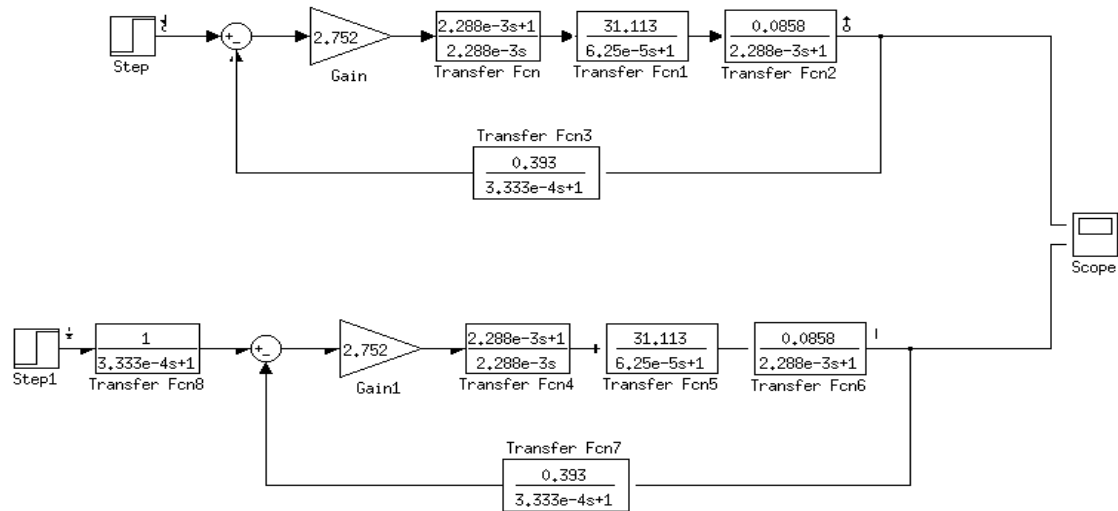


Рисунок 14 - Внешний вид имитационной модели контура тока в программной среде MATLAB Simulink

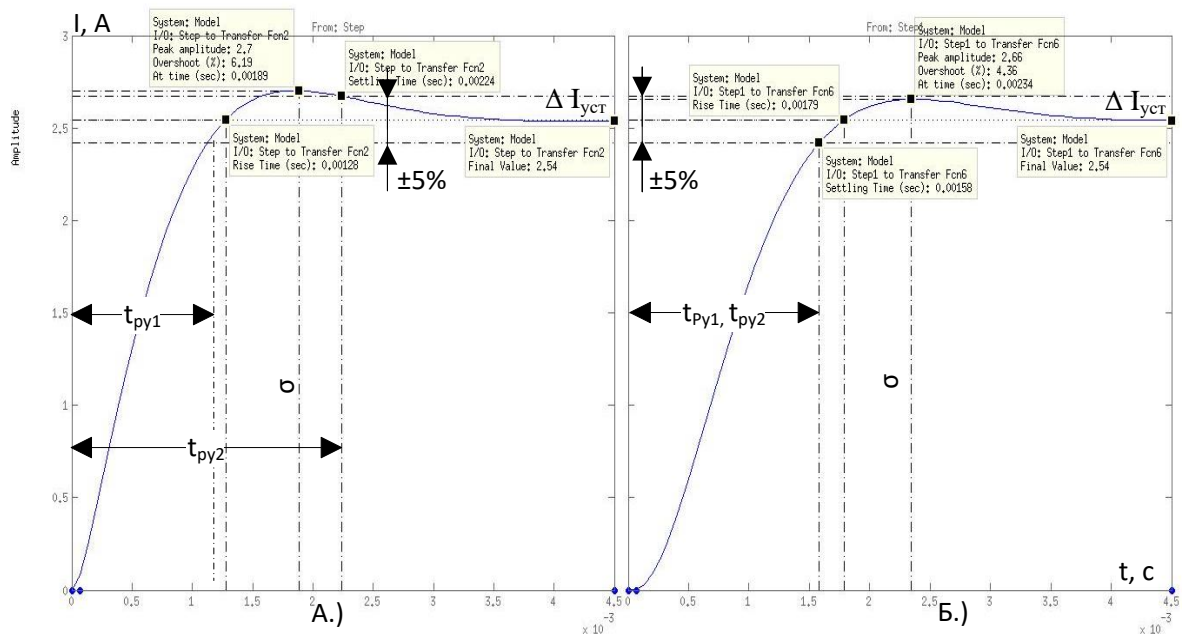


Рисунок 15 - Переходные процессы контура тока с оптимизацией (А – без фильтра, Б- с фильтром)

Таблица 11 - Показатели качества работы контура тока

$t_{py1}, c$	$t_{py2}, c$	$\sigma, \%$	$\Delta I_{уст}, A$	
Ожидаемые показатели				
0,001623	0,001623	4,3%	2,54	
Результаты моделирования без фильтра				
0,001723	0,00224	6,19%	2,54	
Результаты моделирования с фильтром				
0,00158	0,00158	4,36%	2,54	
Частотные показатели				
Замкнутый контур без фильтра	Ожидаемые показатели		Результаты моделирования	
	Запас по фазе $\Delta\omega_{II}^{(\Phi)}, рад / сек$	Запас модулю $\Delta\omega_{II}^{(M)}, рад / сек$	Запас по фазе $\Delta\omega_{II}^{(\Phi)}, рад / сек$	Запас модулю $\Delta\omega_{II}^{(M)}, рад / сек$
	1794	1794	1920	1790
Разомкнутый контур с фильтром	Запас по модулю $\Delta L, дБ$		Запас по фазе $\Delta\varphi, град$	
	15		41	

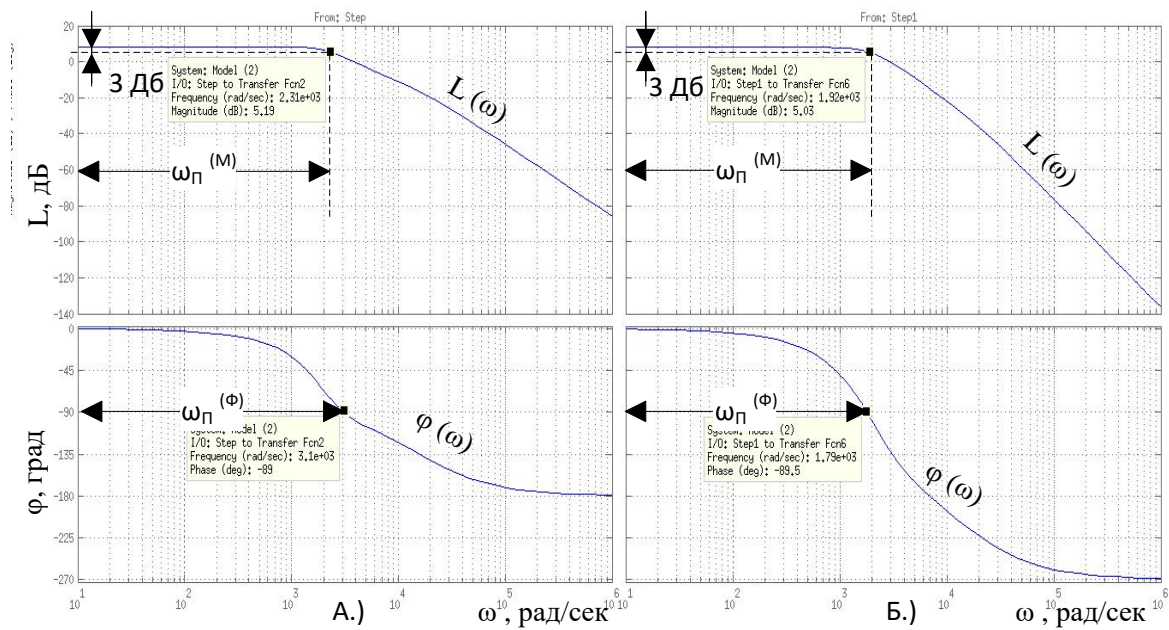


Рисунок 16 - Частотные характеристики замкнутого контура тока  
(А- без фильтра, Б- с фильтром)

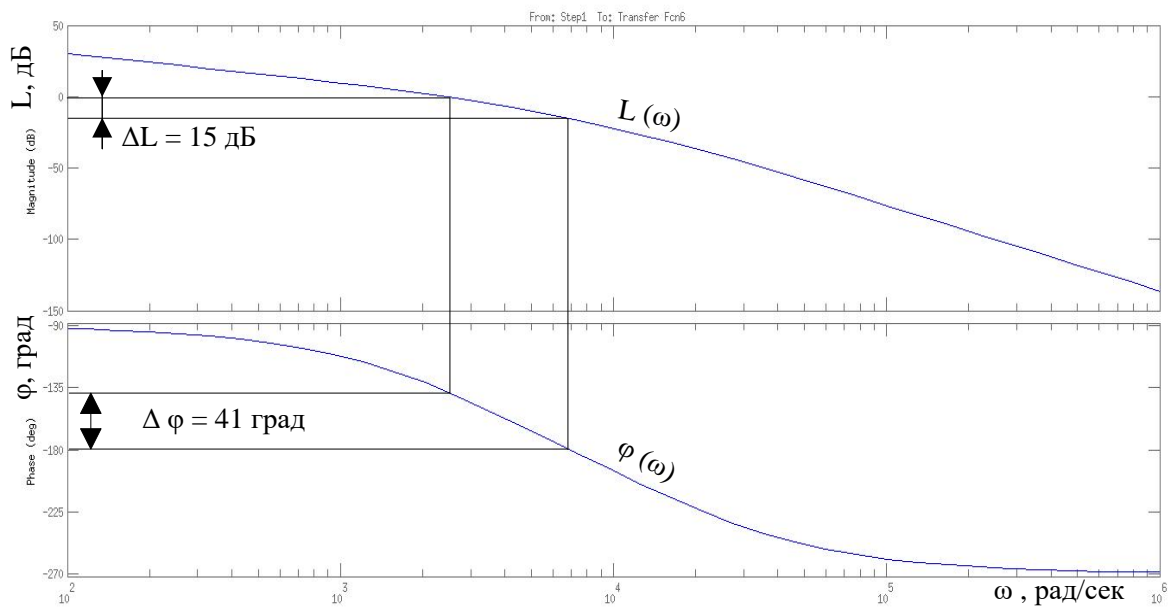


Рисунок 17 - Частотные характеристики разомкнутого контура тока

## Оптимизация контура потокосцепления с инерционной обратной связью

При оптимизации контура потокосцепления внутренний оптимизированный замкнутый контур тока представлен усеченной передаточной функцией 1-го порядка

$$W(p)_{\text{зам.т}} \approx \frac{1}{T_T \cdot p + 1}$$

где,  $T_T = a_T \cdot T_{\mu\tau\sigma} = a_T \cdot (T_{\mu\Pi\Pi} + T_{\mu\tau\sigma}) = 7,917 \cdot 10^{-4}$  — эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура тока, с.

Структурная схема контура потокосцепления с инерционной обратной связью и ПИ-регулятором приведена на рис. 18.

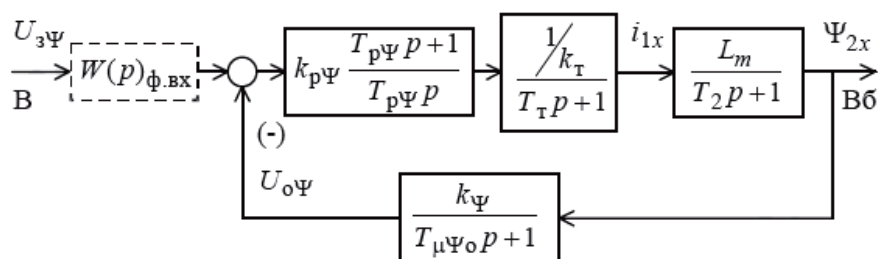


Рисунок 18 - Структурная схема контура потокосцепления с ПИ-регулятором

Передаточная функция ПИ-регулятора потокосцепления

$$W(p)_{p\Psi} = k_{p\Psi} \cdot \frac{T_{p\Psi} \cdot p + 1}{T_{p\Psi} \cdot p}$$

Коэффициент усиления и постоянная времени регулятора потокосцепления определяются по выражениям

$$k_{p\Psi} = \frac{T_2 \cdot k_T}{L_m \cdot k_{\Psi}} \cdot \frac{1}{a_{\Psi} \cdot (T_T + T_{\mu\Psi o})} = 1,087$$

$$T_{p\Psi} = T_2 = 0,092 \text{ с}$$

где,  $k_{\Psi} = \frac{U_{\Psi_{\max}}}{\Psi_{2\text{хн}}} = \frac{10}{0,803} = 11,628$  – коэффициент обратной связи по

потокосцеплению, В/Вб. Принимаем  $U_{\Psi_{\max}} = 10\text{В}$ .

$a_{\Psi} = 2$  - коэффициент оптимизации

Контур потокосцепления с ПИ-регулятором настроенный таким образом имеет следующие передаточные функции:

– разомкнутого контура

$$W(p)_{\text{раз.}\Psi} = \frac{1}{a_{\Psi} \cdot T_T \cdot T_{\mu\Psi_0} \cdot T_{\mu\Psi_3} \cdot p^3 + a_{\Psi} \cdot T_{\mu\Psi_3}^2 \cdot p^2 + a_{\Psi} \cdot T_{\mu\Psi_3} \cdot p}$$

– замкнутого контура по управлению

$$W(p)_{\text{з.зам}} = \frac{\frac{1}{k_{\Psi}} \cdot (T_{\mu\Psi_0} \cdot p + 1)}{a_{\Psi} \cdot T_T \cdot T_{\mu\Psi_0} \cdot T_{\mu\Psi_3} \cdot p^3 + a_{\Psi} \cdot T_{\mu\Psi_3}^2 \cdot p^2 + a_{\Psi} \cdot T_{\mu\Psi_3} \cdot p + 1} \approx$$

$$\approx \frac{\frac{1}{k_T} \cdot (T_{\mu\Psi_0} \cdot p + 1)}{a_{\Psi} \cdot T_{\mu\Psi_3}^2 \cdot p^2 + a_{\Psi} \cdot T_{\mu\Psi_3} \cdot p + 1}$$

где,  $T_{\mu\Psi_3} = T_T + T_{\mu\Psi_0} = 8,542 \cdot 10^{-4}$  – эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура, с.

Настройка контура близка к настройке на модульный оптимум системы второго порядка. Контур является астатической системой регулирования первого порядка по управлению и обеспечивает нулевую установившуюся ошибку  $\Delta\Psi_{\text{уст}}=0$ . В зависимости от соотношения малых постоянных времени  $T_T$  и  $T_{\mu\Psi_0}$  контур имеет следующие динамические показатели качества работы:

– полоса пропускания по модулю

$$\omega_{\Pi}^{(M)} = \frac{(0,71 \div 0,9)}{T_{\mu\Psi_3}} = 831 \div 1054 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

– перерегулирование

$$\sigma = (4,3 \div 6,7)\%$$

– время первого вхождения в 5 % зону

$$t_{\text{pyl}} = (4,1 \div 2,75) \cdot T_{\mu\Psi_3} = 3,502 \cdot 10^{-3} \div 2,349 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

На рис. 19 представлена имитационная модель контура потокосцепления, а на рис. 20-22 результаты моделирования. В табл. 12 сведены полученные показатели качества работы контура.

При полученных значениях перерегулирования в контуре потокосцепления установка на входе контура фильтра нецелесообразна.

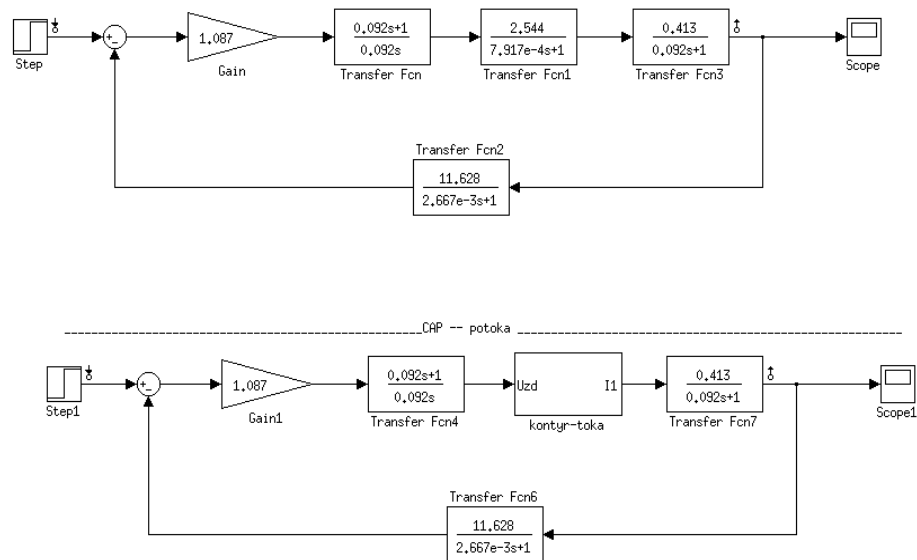


Рисунок 19 - Внешний вид имитационной модели контура потокосцепления и CAP потока в программной среде MATLABSimulink

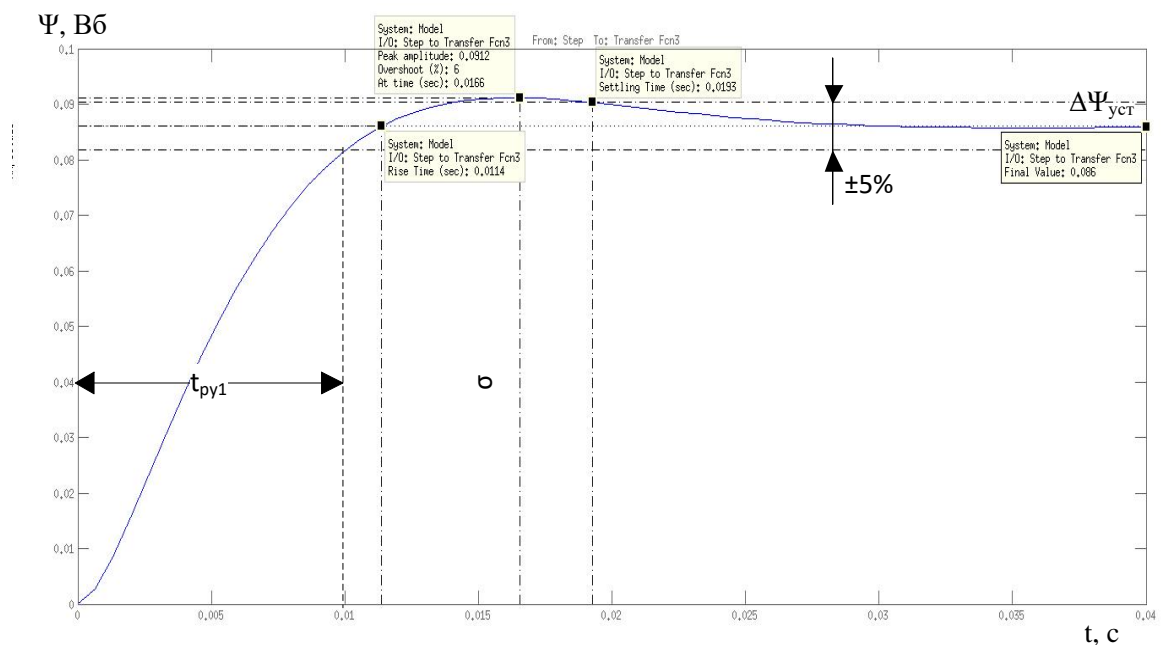


Рисунок 20 - Переходные процессы контура потокосцепления

Таблица 12

$t_{PY1}, c$	$t_{PY2}, c$	$\sigma, \%$	$\Delta\Psi_{уст}, Bб$
Ожидаемые показатели			
0,00951 – 0,014	-	4,3-6,7	0,86
Результаты моделирования			
0,009917	-	6	0,86
Частотные показатели			
Замкнутый контур	Ожидаемые показатели		Результаты моделирования
	Запас по фазе $\Delta\omega_{\Pi}^{(\Phi)}, рад / сек$	Запас модулю $\Delta\omega_{\Pi}^{(M)}, рад / сек$	Запас по фазе $\Delta\omega_{\Pi}^{(\Phi)}, рад / сек$
	-	205-260	329
Разомкнутый контур	Запас по модулю $\Delta L, дБ$		Запас по фазе $\Delta\varphi, град$
	45		43

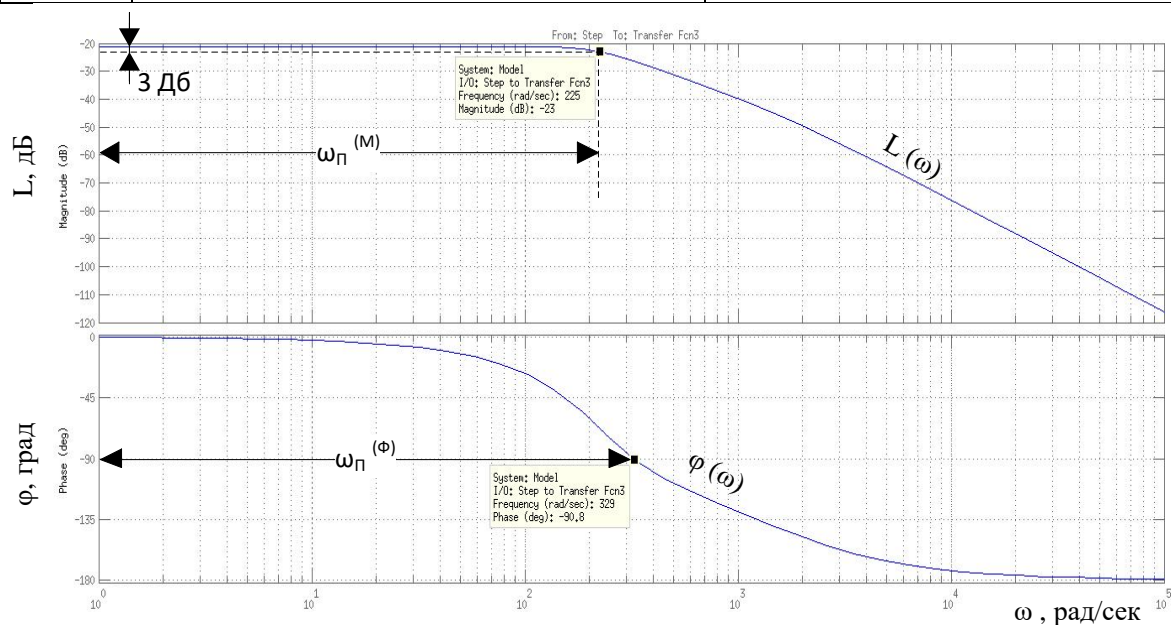


Рисунок 21 - Частотные характеристики замкнутого контура потокосцепления



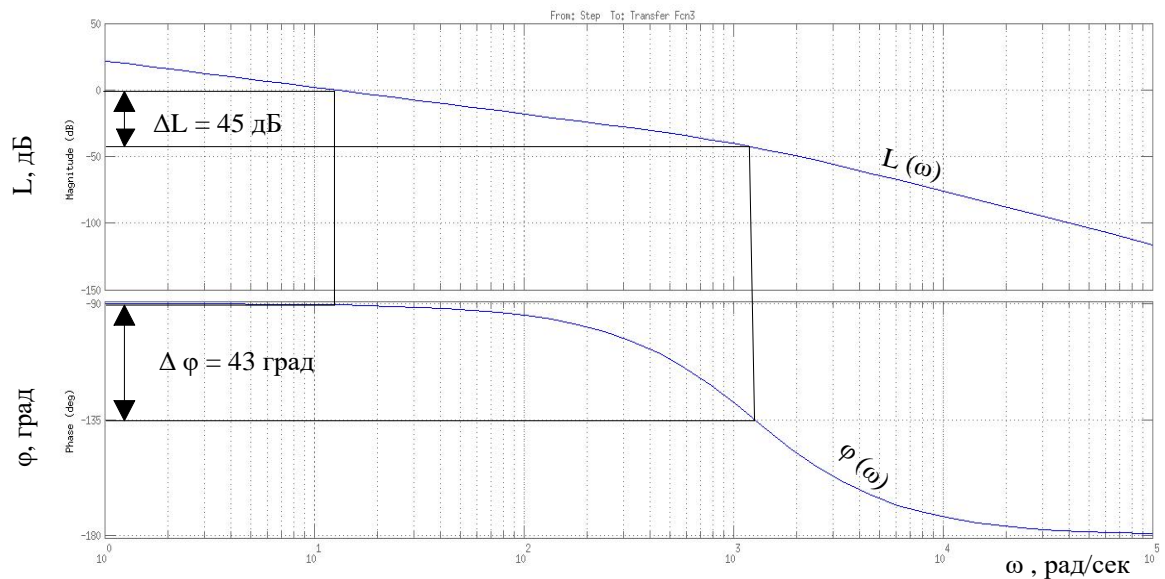


Рисунок 22 - Частотные характеристики разомкнутого

### Оптимизация контура скорости с ПИ-регулятором

Структурная схема контура скорости с инерционной обратной связью и ПИ-регулятором приведена на рис. 23

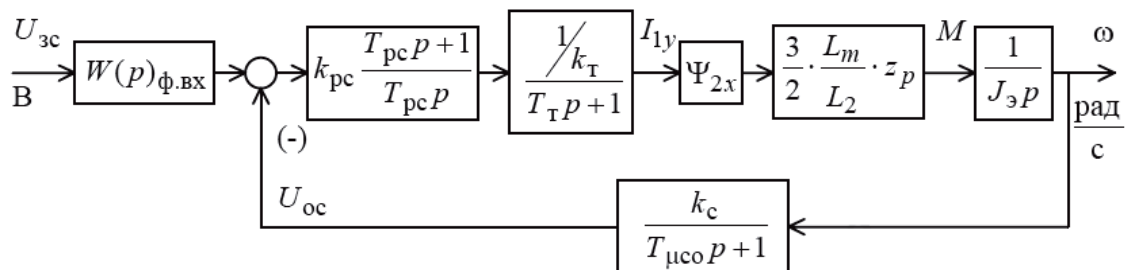


Рисунок 23 - Структурная схема контура скорости с ПИ-регулятором

Передаточная функция ПИ-регулятора скорости

$$W(p)_{pc} = k_{pc} \cdot \frac{T_{pc} \cdot p + 1}{T_{pc} \cdot p}$$

Коэффициент усиления и постоянная времени регулятора скорости определяются по выражениям:

$$k_{pc} = \frac{J_{\Sigma} \cdot k_T}{\Psi_{2x} \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot k_c} \cdot \frac{1}{a_c(T_T + T_{\mu co})} = 1,428$$

$$T_{pc} = b_c \cdot a_c \cdot (T_T + T_{\mu co}) = 0,017 c$$

где,  $b_c=a_c=2$  – коэффициенты оптимизации

Оптимизированный контур скорости с ПИ-регулятором имеет следующие передаточные функции:

– разомкнутого контура

$$W(p)_{раз.с} = \frac{b_c \cdot a_c \cdot T_{\mu c} \cdot p + 1}{b_c \cdot a_c^2 \cdot T_T \cdot T_{\mu co} \cdot T_{\mu c}^2 \cdot p^4 + b_c \cdot a_c^2 \cdot T_{\mu c}^3 \cdot p^3 + b_c \cdot a_c^2 \cdot T_{\mu c}^2 \cdot p^2}$$

– замкнутого контура по управлению

$$W(p)_{T.зам} = \frac{1}{k_c} \cdot \frac{(b_c \cdot a_c \cdot T_{\mu c} \cdot p + 1) \cdot (T_{\mu co} \cdot p + 1)}{b_c \cdot a_c^2 \cdot T_T \cdot T_{\mu co} \cdot T_{\mu c}^2 \cdot p^4 + b_c \cdot a_c^2 \cdot T_{\mu c}^3 \cdot p^3 + b_c \cdot a_c^2 \cdot T_{\mu c}^2 \cdot p^2 + b_c \cdot a_c \cdot T_{\mu c} \cdot p + 1}$$

где,  $T_{\mu c} = T_T + T_{\mu co}$  – эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура, с.

Оптимизированный контур при обработке ступенчатых управляющих воздействий обеспечивает высокое быстродействие при перерегулировании в общем случае более 4,3 %. Если на входе контура установить фильтр с передаточной функцией:

$$W(p)_{ф.вх} = \frac{1}{T_{ф.вх2} p + 1}$$

постоянная времени которого равна  $T_{ф.вх2} = b_c \cdot a_c \cdot (T_T + T_{\mu co}) + T_{\mu co} = 0,02$  с.

Настройка контура без фильтров на входе близка к настройке на СО, а с фильтрами – на МО для системы 3-го порядка.

Контур скорости с фильтрами на входе представляет собой астатическую систему 1-го порядка и обеспечивает нулевую статическую ошибку по управлению

Динамические показатели качества работы контура:

– полоса пропускания контура по модулю и по фазе изменяется в пределах

$$\omega_{\Pi}^{(M)} = \frac{(0,5 \div 0,54)}{T_T + T_{\mu co}} = 121 \div 131 \frac{рад}{с} \quad \omega_{\Pi}^{(\Phi)} = \frac{(0,36 \div 0,42)}{T_T + T_{\mu co}} = 87 \div 102 \frac{рад}{с}$$

– перерегулирование, время первого и окончательного вхождения в 5 % зону при обработке скачка задания

$$\sigma = (8,1 \div 10)\%$$

$$t_{py1} = (7 \div 5,8) \cdot (T_T + T_{\mu co}) = 0,029 \div 0,024 с \quad t_{py2} = (12 \div 9,5) \cdot (T_T + T_{\mu co}) = 0,05 \div 0,039 с$$

На рис. 24 представлена имитационная модель контура скорости, а на рис. 25-27 результаты моделирования. В табл. 13 сведены полученные показатели качества работы контура скорости.

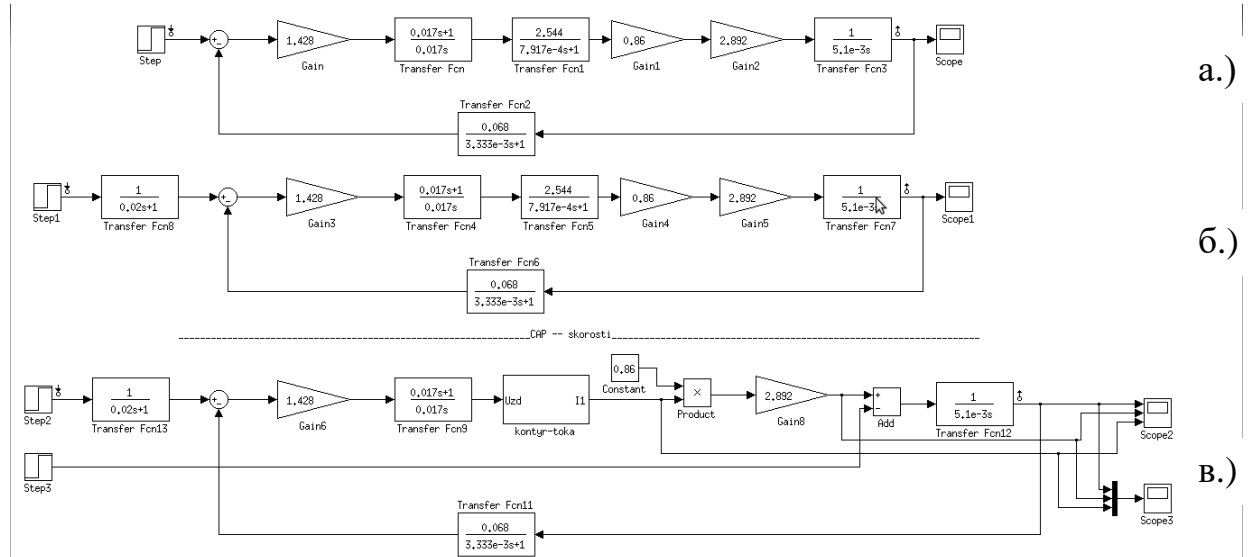


Рисунок 24 - Внешний вид имитационной модели контура скорости с ПИ-регулятором в программной среде MATLAB Simulink  
 (а – без фильтра, б – с фильтром, в – CAP скорости)

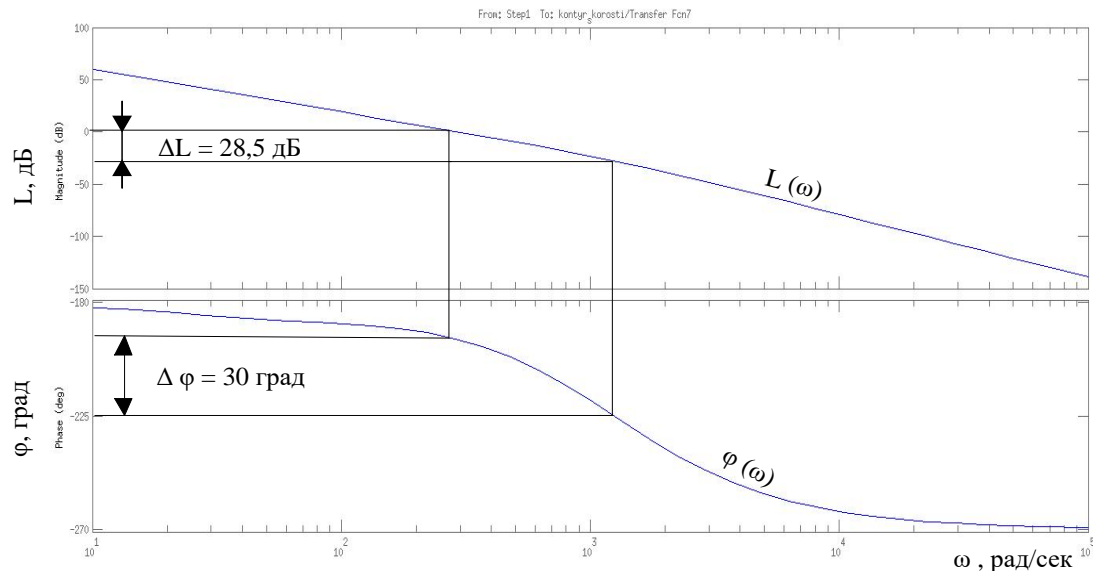


Рисунок 25 - Частотные характеристики разомкнутого контура скорости с фильтром

Таблица 13 - Показатели качества работы контура скорости

$t_{py1}, c$		$t_{py2}, c$		$\sigma, \%$		$\Delta\omega_{уст}, \frac{rad}{c}$	
Ожидаемые показатели							
0,029-0,024		0,05-0,039		8,1-10		0	
Результаты моделирования без фильтра							
0,00845		0,0542		48,3		0	
Результаты моделирования с фильтром							
0,0295		-		1,87		0	
Частотные показатели							
Замкнутый контур без фильтра	Ожидаемые показатели			Результаты моделирования			
	Запас по фазе $\Delta\omega_{\Pi}^{(\Phi)}, рад / сек$		Запас модулю $\Delta\omega_{\Pi}^{(M)}, рад / сек$	Запас по фазе $\Delta\omega_{\Pi}^{(\Phi)}, рад / сек$		Запас модулю $\Delta\omega_{\Pi}^{(M)}, рад / сек$	
	87-102		121-131	95,5		117	
Разомкнутый контур с фильтром	Запас по модулю $\Delta L, дБ$			Запас по фазе $\Delta\varphi, град$			
	28,5			30			

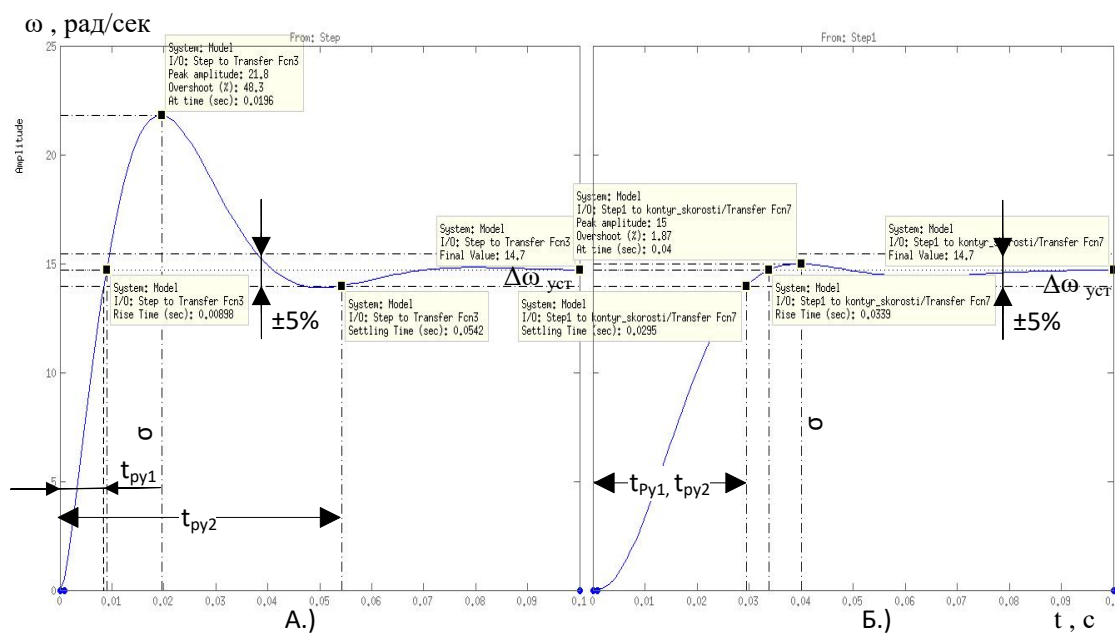


Рисунок 26 - Переходные процессы контура скорости с ПИ-регулятором  
(А - без фильтра, Б- с фильтром)

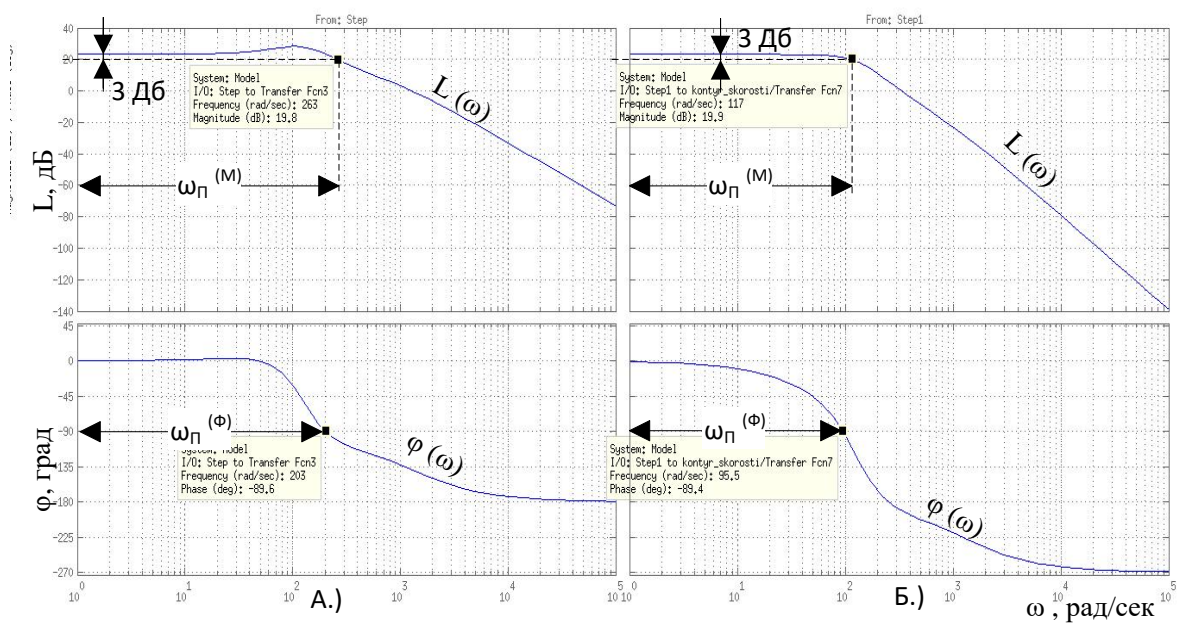


Рисунок 27 - Частотные характеристики замкнутого контура скорости  
(А - без фильтра, Б- с фильтром)

**Оптимизация контура положения с П- регулятором и безынерционной обратной связью, и контуром скорости с ПИ-регулятором**

Для регулировки положения клина задвижки в промежуточных положениях, а также для остановки привода в крайних положениях «открыто» и «закрыто» применяют два варианта.

1. Необходимо установить абсолютный, энергонезависимый датчик положения. Остановка в промежуточных положениях клина или в крайних положениях будет происходить, основываясь на показаниях датчика положения. При этом необходимо откалибровать привод: открыто – 0%, закрыто – 100%.

2. Второй способ это введение контура положения. Положение можно высчитать из датчика скорости, но в этом случае при отсутствии питания электропривода контроллер потеряет текущее значение положения.

Структурная схема контура положения с безынерционной обратной связью приведена на рис. 28.

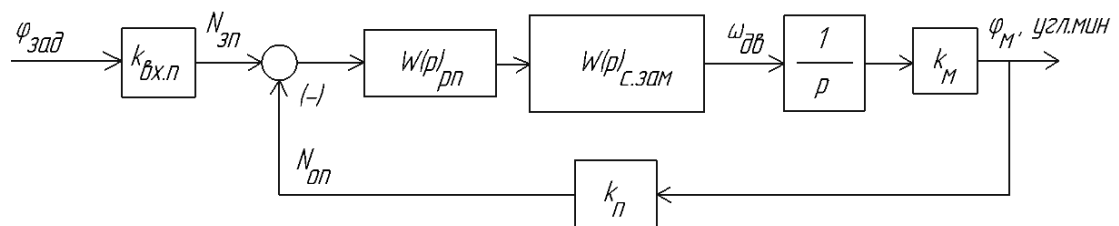


Рисунок 28 – Структурная схема контура положения с безынерционной обратной связью

Передаточная функция П-регулятора положения

$$W(p)_{pn} = k_{pn}$$

Коэффициент усиления регулятора положения находится по выражению:

$$k_{pn} = \frac{k_c}{k_m \cdot k_n \cdot a_n \cdot T_{\mu\Pi\delta}} = 3,966 \cdot 10^{-3}$$

где  $T_{\mu\Pi\delta} = b_c \cdot a_c \cdot (T_T + T_{\mu co}) = 0,017 \text{ с}$  – эквивалентная малая постоянная времени контура положения.

Оптимизированный контур положения с П- регулятором положения и внутренним контуром скорости с ПИ-регулятором скорости в общем случае имеет следующие передаточные функции:

- разомкнутого контура

$$W(p)_{n.раз} = \frac{1}{a_n \cdot b_c^2 \cdot a_c^3 \cdot T_{\mu c \varepsilon}^4 \cdot p^4 + a_n \cdot b_c^2 \cdot a_c^3 \cdot T_{\mu c \varepsilon}^3 \cdot p^3 + a_n \cdot b_c^2 \cdot a_c^2 \cdot T_{\mu c \varepsilon}^2 \cdot p^2 + a_n \cdot b_c \cdot a_c \cdot T_{\mu c \varepsilon} \cdot p + 1}$$

замкнутого контура по управлению, записанную для входного сигнала  $\varphi_{зад}$  в общем случае,

$$W(p)_{n.раз} = \frac{k_{вх.н} \cdot \frac{1}{k_n}}{a_n \cdot b_c^2 \cdot a_c^3 \cdot T_{\mu c \varepsilon}^4 \cdot p^4 + a_n \cdot b_c^2 \cdot a_c^3 \cdot T_{\mu c \varepsilon}^3 \cdot p^3 + a_n \cdot b_c^2 \cdot a_c^2 \cdot T_{\mu c \varepsilon}^2 \cdot p^2 + a_n \cdot b_c \cdot a_c \cdot T_{\mu c \varepsilon} \cdot p + 1}$$

Настройка контура положения при коэффициенте оптимизации  $a_n=2$  точно соответствует настройке на МО системы 4-го порядка. Замкнутый контур положения представляет собой астатическую систему 1-го порядка по управлению. Показатели качества работы замкнутого контура положения по управлению определяются следующими значениями:

- статическая ошибка по управлению при постоянном значении задающего сигнала  $\varphi_{зад}=\text{const}$

$$\Delta\varphi_{уст}=0$$

- полоса пропускания контура по модулю и по фазе:

$$\omega_{II}^{(M)} = \frac{0,282}{T_{\mu c \varepsilon}} = 68,36 \frac{рад}{с} \quad \omega_{II}^{(\Phi)} = \frac{0,182}{T_{\mu c \varepsilon}} = 44,12 \frac{рад}{с}$$

- перерегулирование, время первого и окончательного вхождения в 5%-ю зону при отработке скачка задания:

$$\sigma = 6,24 \%$$

$$t_{py1} = 13,2 \cdot T_{\mu c \varepsilon} = 0,054 с \quad t_{py2} = 20,3 \cdot T_{\mu c \varepsilon} = 0,084 с$$

На рис. 29 представлена имитационная модель контура положения, а на рис. 30-32 результаты моделирования. В табл. 14 сведены полученные показатели качества работы контура положения.

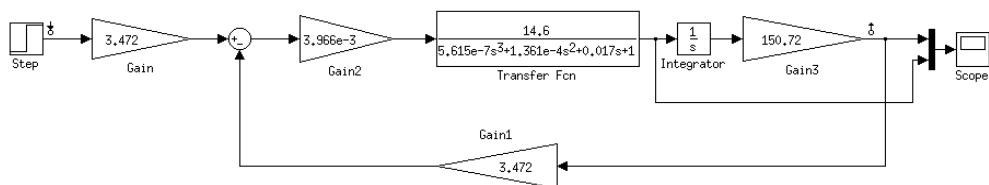


Рисунок 29 – Схема набора имитационной модели контура положения с безынерционной связью в программной среде MATLABSimulink

Таблица 14 – Показатели качества работы контура положения

$t_{PY1}, c$	$t_{PY2}, c$	$\sigma, \%$	$\Delta\varphi_{уст}, угл.мин$
Ожидаемые показатели			
0,054	0,084	6,24	0
Результаты моделирования			
0,054	0,088	6,5	0
Частотные показатели			
Замкнутый контур	Ожидаемые показатели		Результаты моделирования
	Запас по фазе $\Delta\omega_{\Pi}^{(\Phi)}, рад/сек$	Запас модулю $\Delta\omega_{\Pi}^{(M)}, рад/сек$	Запас по фазе $\Delta\omega_{\Pi}^{(\Phi)}, рад/сек$
	44,12	68,36	43,8
Разомкнутый контур	Запас по модулю $\Delta L, дБ$		Запас по фазе $\Delta\varphi, град$
	8,5		62



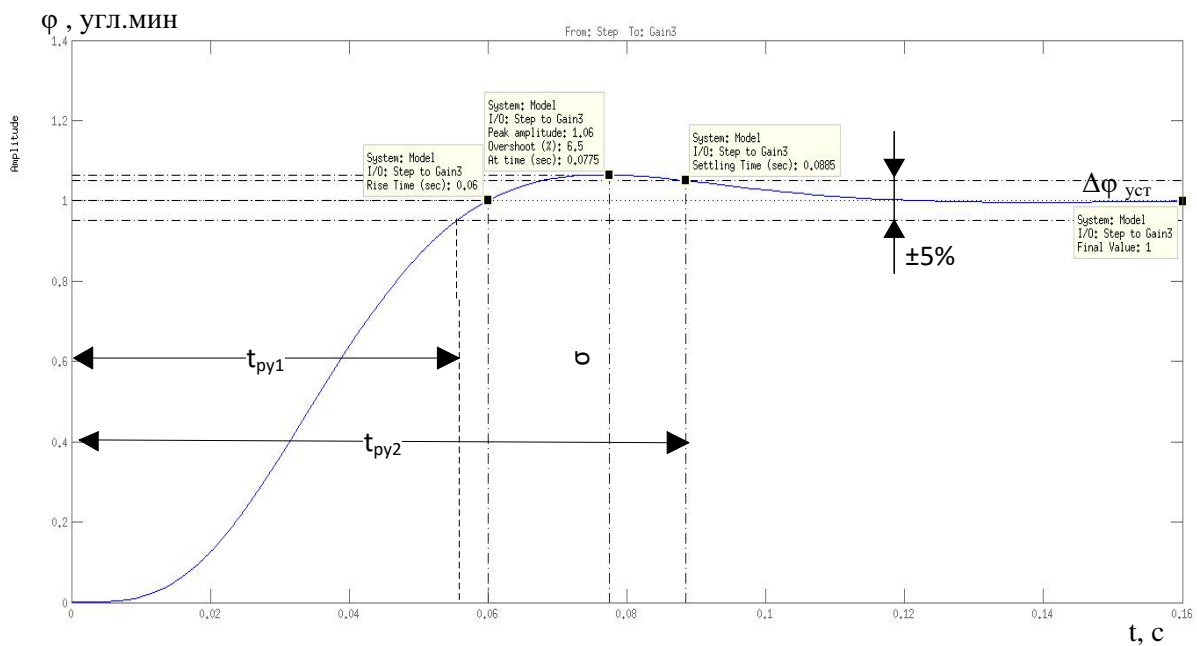


Рисунок 31 - Переходные процессы контура положения

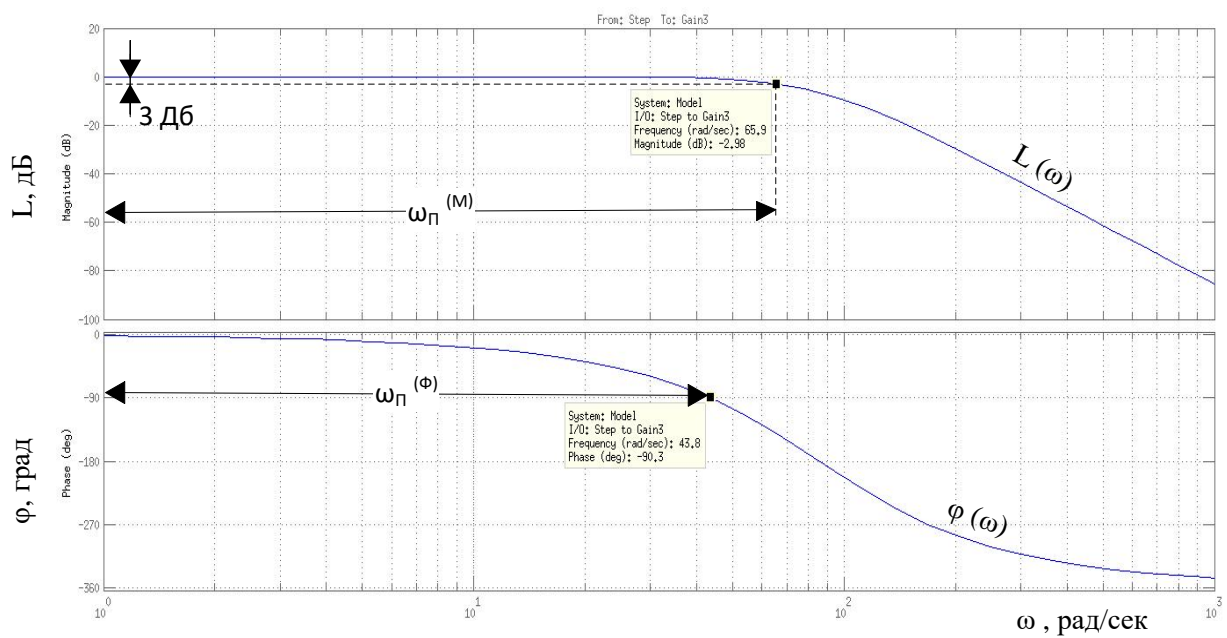


Рисунок 32 - Частотные характеристики замкнутого контура положения



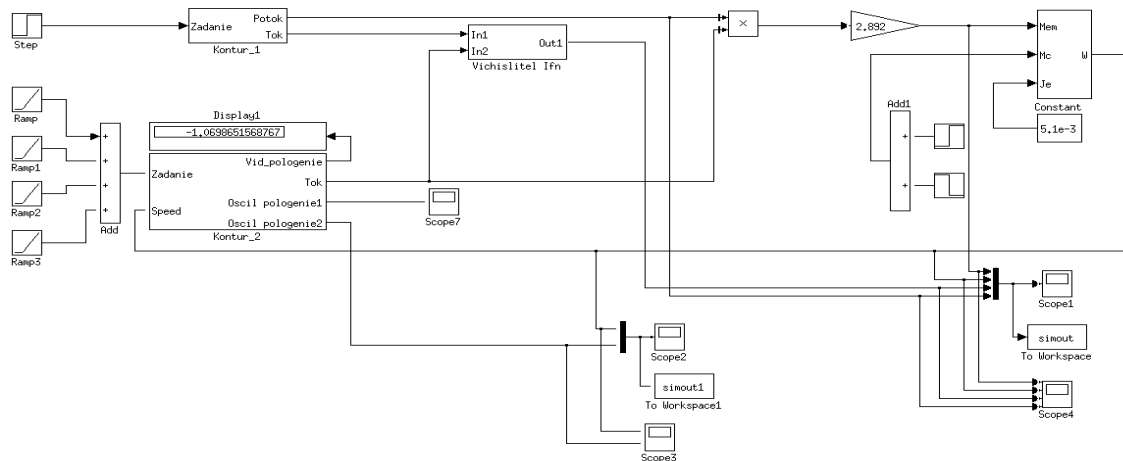


Рисунок 34 - Имитационная модель с упрощённой моделью двигателя среде MATLAB

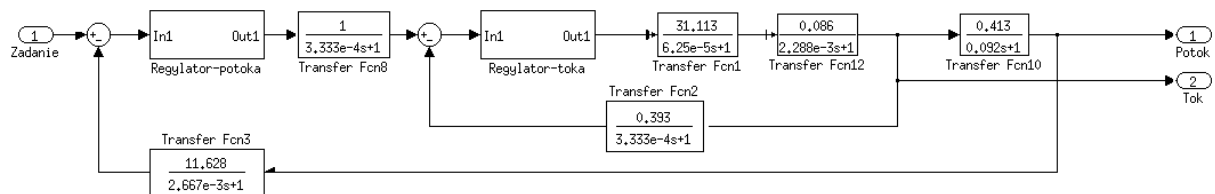


Рисунок 35 – Содержание блока “Kontur\_1”

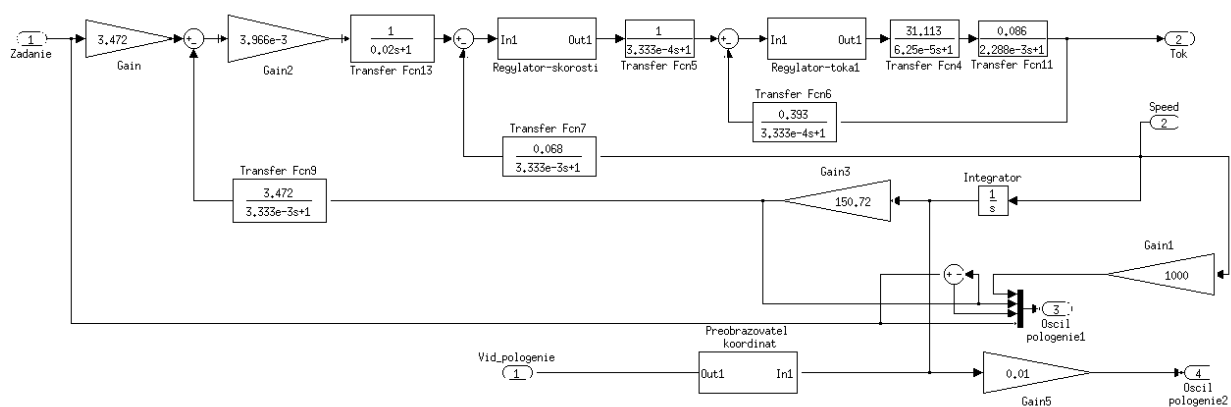


Рисунок 36 – Содержание блока “Kontur\_2”

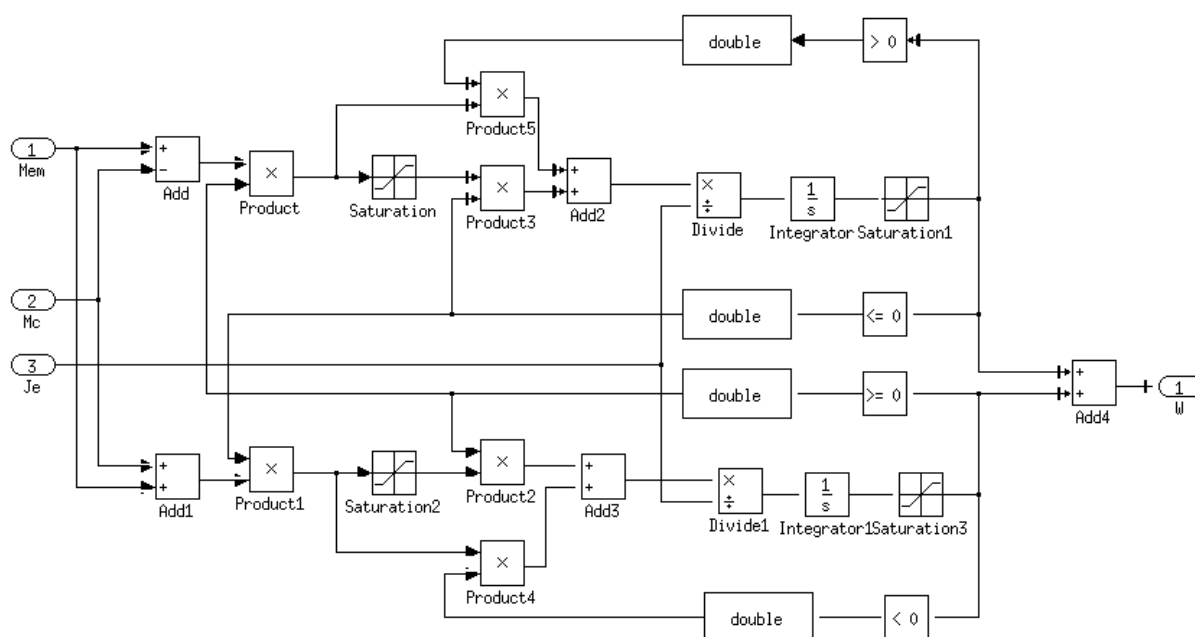


Рисунок 37 – Содержание блока “Reaktivnaya nagruzka”

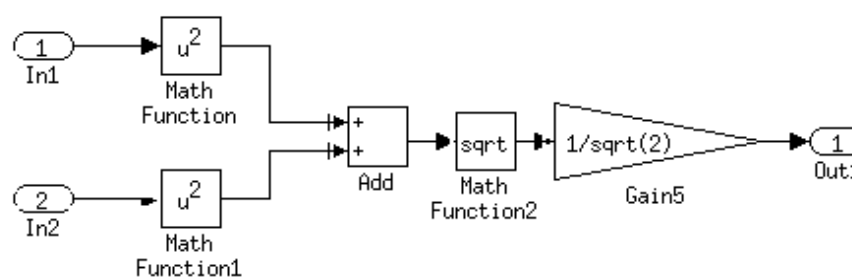


Рисунок 38 – Содержание блока “Vichislitel Ifn”

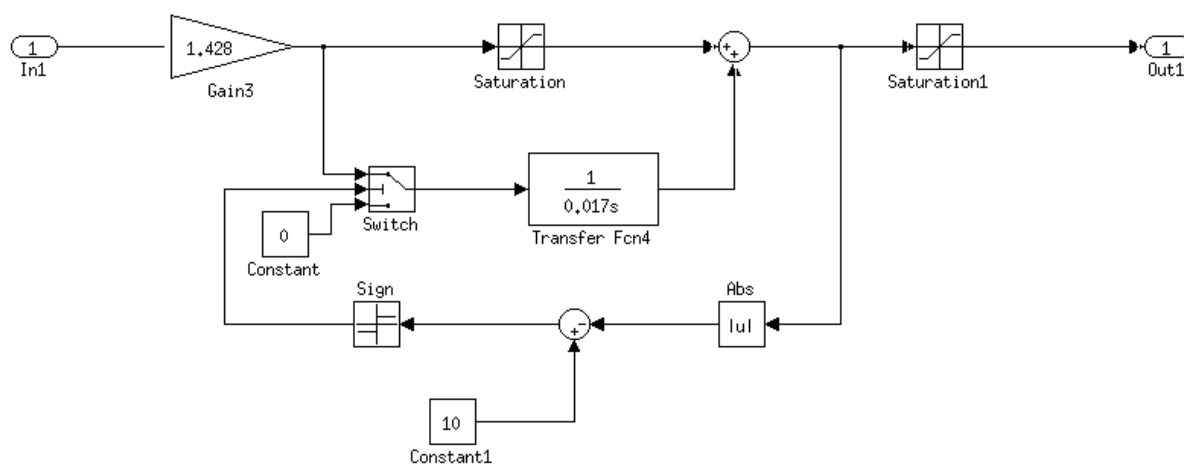


Рисунок 39 – Содержание блока “Regylator-skorosti”

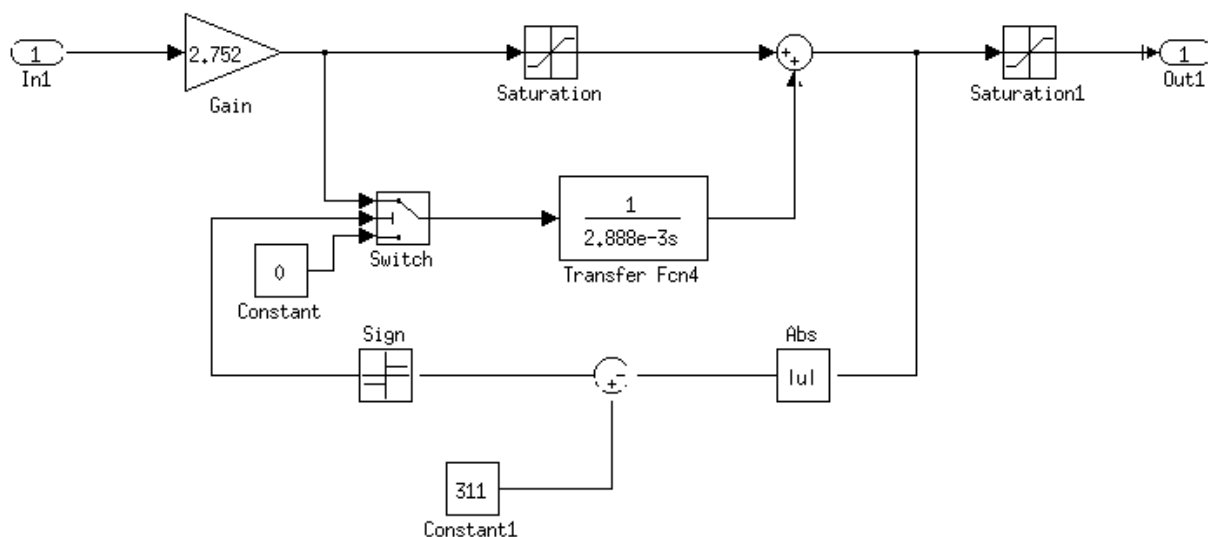


Рисунок 40 – Содержание блока “Regulator-potoka”

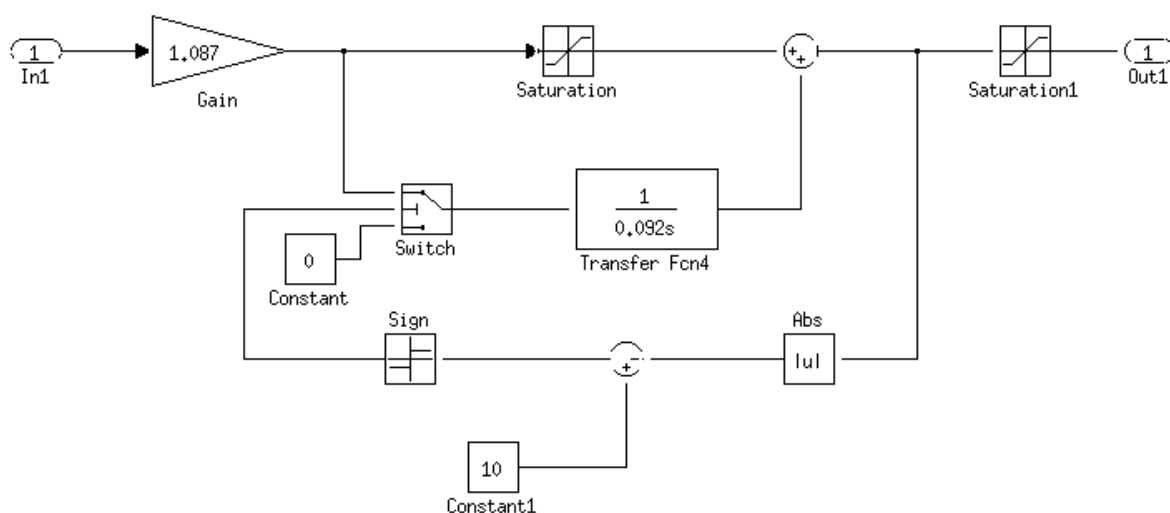


Рисунок 41 – Содержание блока “Regulator-toka”

В результате расчётов контура тока, контура потокосцепления и контура скорости было выявлено, что наилучшие показатели можно достичь, поставив фильтр перед контуром скорости. Остальные контура в фильтрах не нуждаются.

Основные нелинейности характеристик САУ:

- насыщение регуляторов тока, потокосцепления и скорости

$$U_{\text{рт макс}} = \pm 10 \text{ В}, U_{\text{р}\Psi \text{ макс}} = \pm 10 \text{ В}, U_{\text{рс макс}} = \pm 10 \text{ В};$$

- постоянное по величине ограничение максимального тока электропривода в переходных режимах и кратковременных перегрузках, которое достигается

- ограничением выходного напряжения регулятора скорости на уровне  $U_{\text{редоп}}(\omega) = \pm k_T \cdot I_{\text{эп макс}}$ ;
- ограничение выходного напряжения инвертора  $E_H = \sqrt{2} \cdot U_{1\Phi H}$ ;
  - реактивный характер нагрузки  $M_c(\omega) = M_c \sin(\omega)$ .

## 5.2. Исследование работы электропривода в динамических режимах

На рис. 42-44 представлены переходные процессы скорости, момента, тока и потокосцепления асинхронного электропривода. Пуск и работа САУ, без нагрузки, при максимальной скорости. На этих графиках хорошо видна отработка контурами тока и скорости нагрузок, САУ обеспечивает ограничение тока и момента, скорость достигает своего установившегося значения.

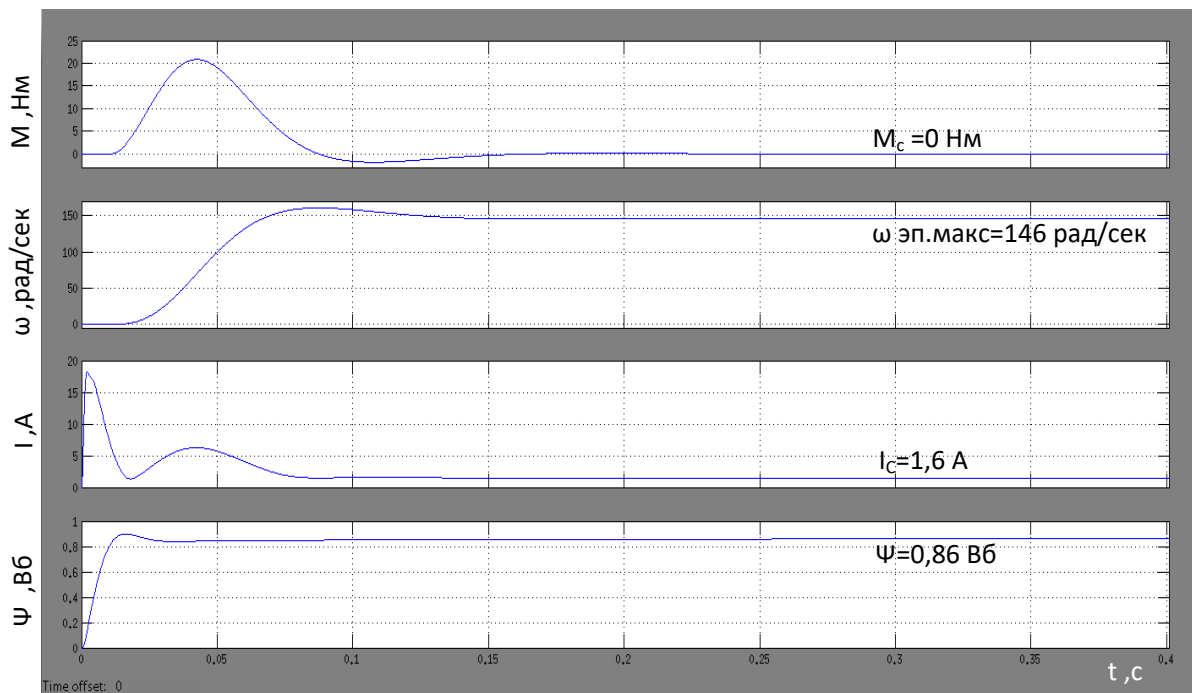


Рисунок 42 – Пуск и работа САУ, без нагрузки, при максимальной скорости

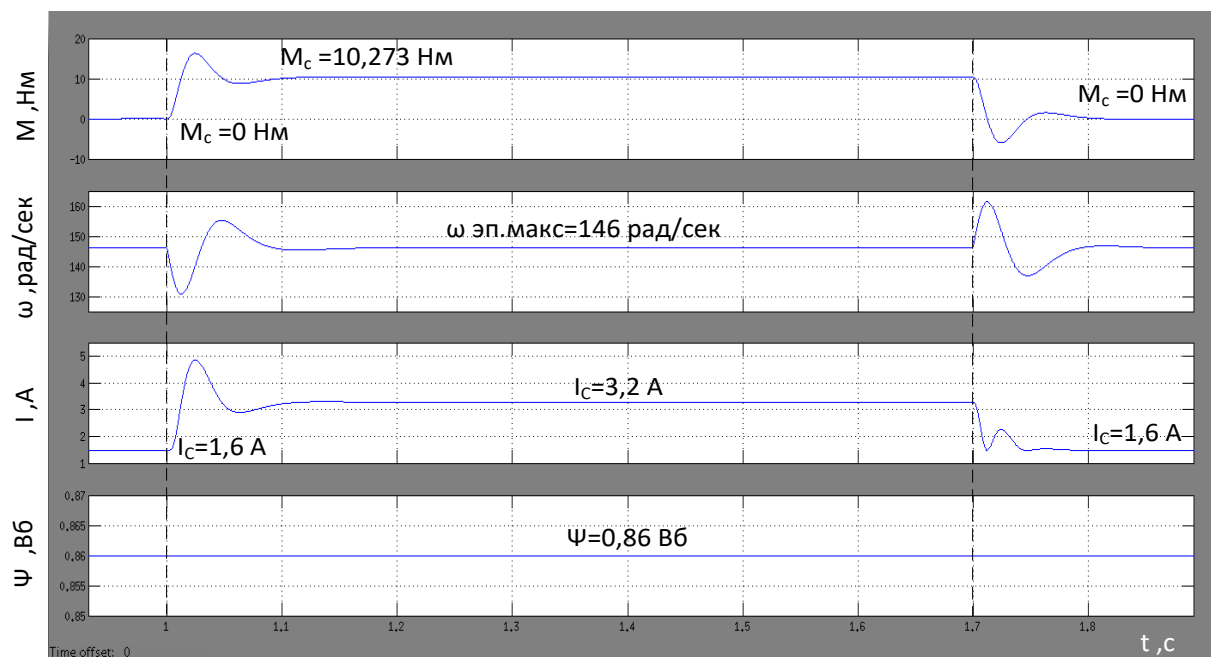


Рисунок 43 – Наброс  $t=1$  сек и сброс  $t=1,7$  сек нагрузки  $M_c=10,273$  Нм, при максимальной скорости электропривода

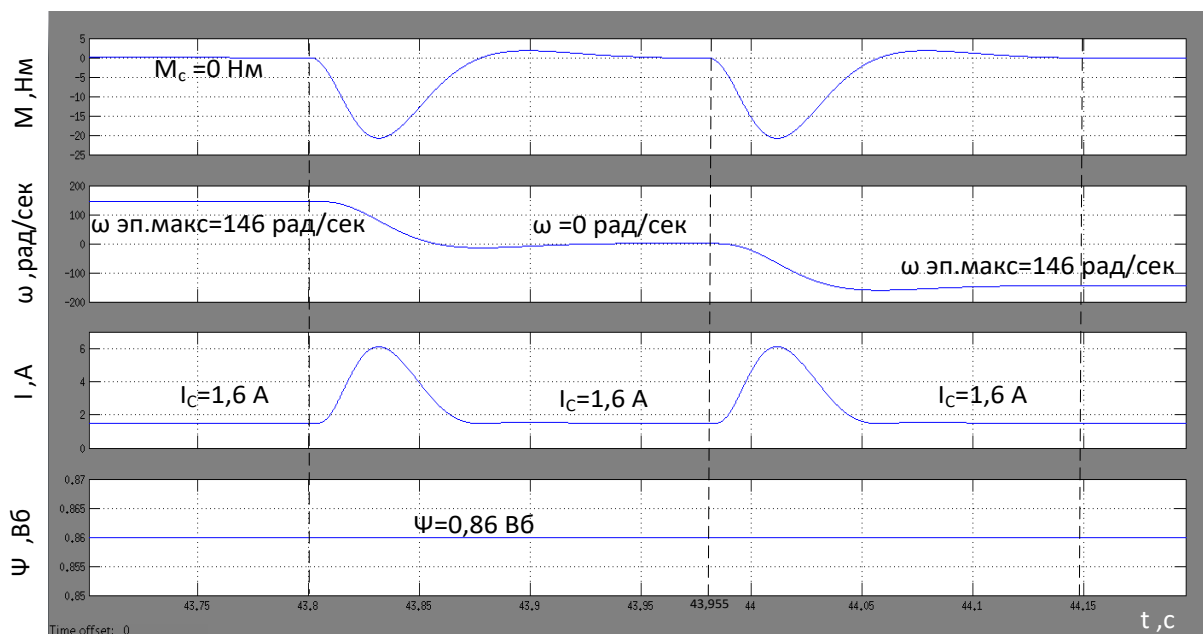


Рисунок 44 - Реверс САУ, без нагрузки в течении времени  $t=43,8 - 44,35$  сек, при максимальной скорости электропривода

### 5.3. Имитационная модель частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении с моделью двигателя в двухфазной системе координат

Схема нелинейной непрерывной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении с имитационной моделью асинхронного двигателя в двухфазной системе координат реализована в программной среде MATLAB Simulink (рис. 45).

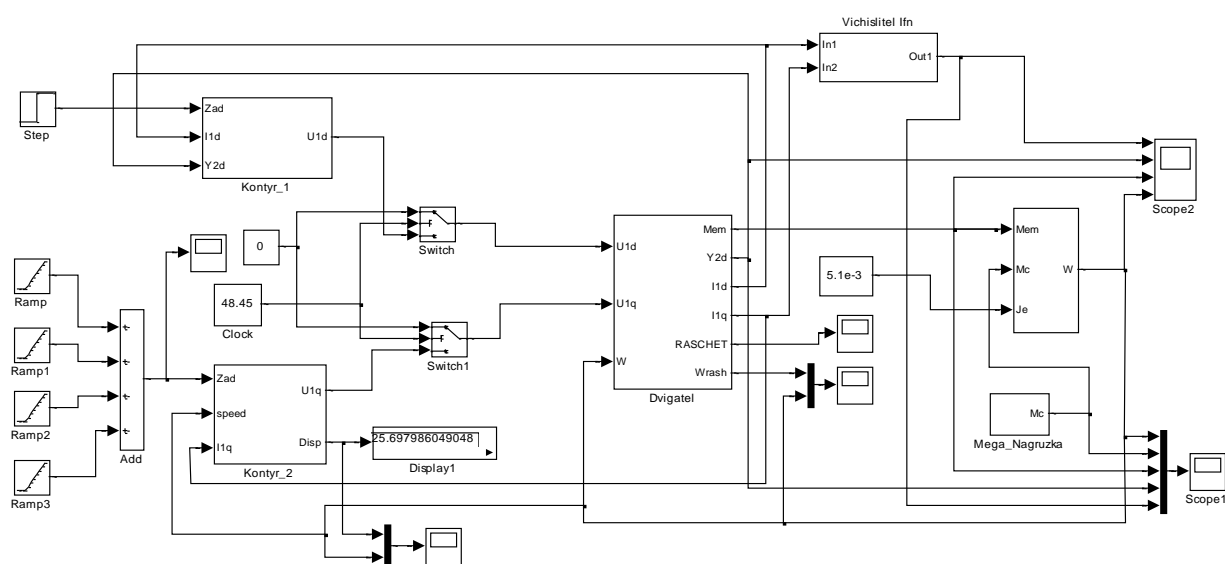


Рисунок 45 – Схема системы автоматического управления следящего электропривода

Схема имитационной модели двигателя представлена на рис. 46



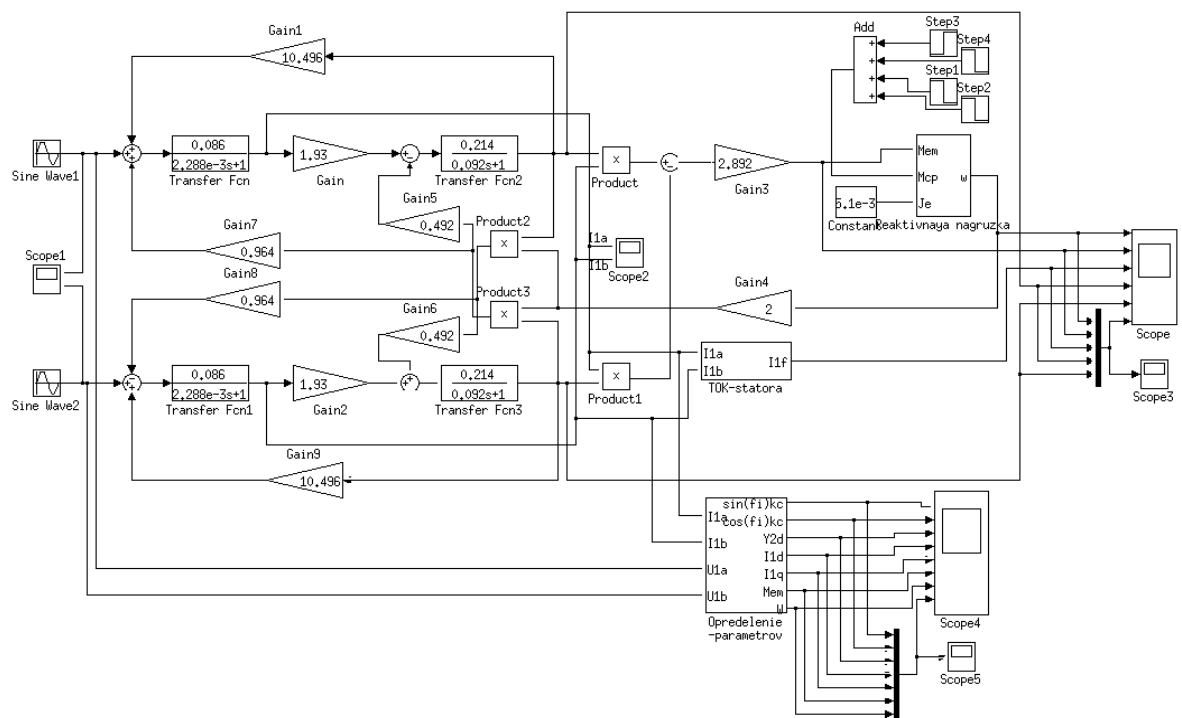


Рисунок 46 – Внешний вид имитационной модели асинхронного электродвигателя с неподвижной двухфазной системе координат  $\alpha, \beta$

Дополнительно, в состав САУ, был введён блок “ZIS” – задатчик интенсивности, обеспечивающий формирование управляющего сигнала на скорость с ограниченными значениями первой и второй производных.

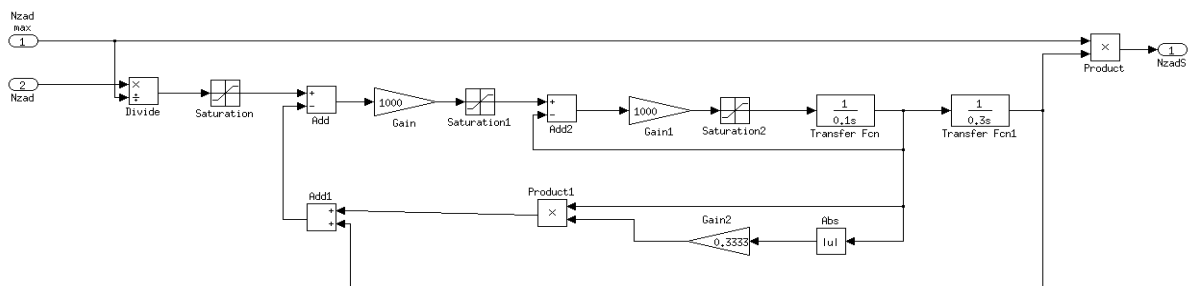


Рисунок 47 – Содержание блока “ZIS”

За имитацию нагрузочного момента отвечает блок “Mega\_Nagruzka” (рис. 48)

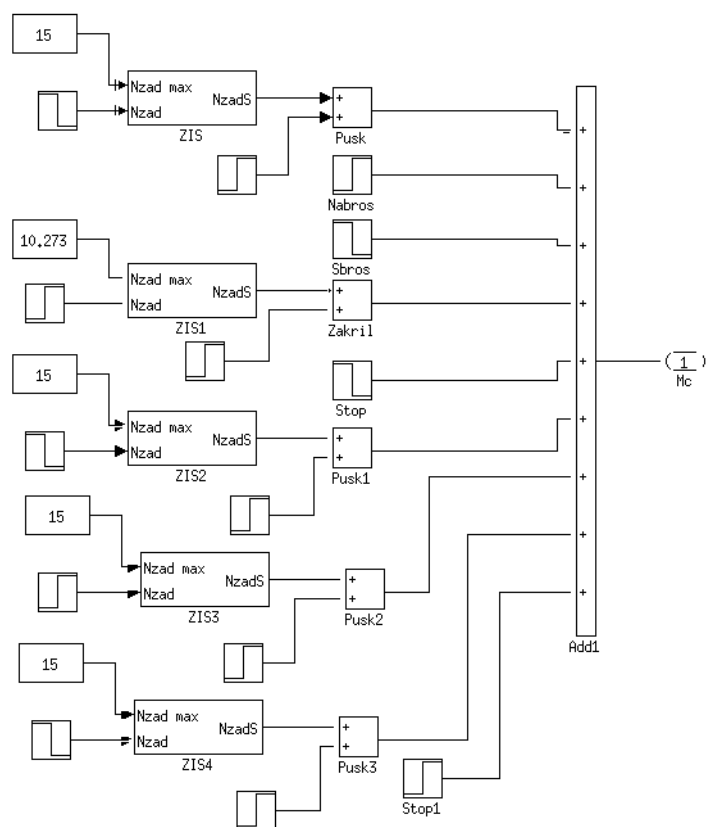


Рисунок 48 – Содержание блока “Mega\_Nagruzka”

#### 5.4 Результаты имитационного моделирования

На рис. 49-53 представлены результаты моделирования электропривода клиновой задвижки при векторном положении и с обратной связью по положению.

На рис. 49 представлен пуск под нагрузкой, на первом участке формирование потока, затем плавный разгон двигателя. При наброске и сбросе нагрузки (рис. 50) происходит бросок скорости, отработка регулятора скорости показывает, что система ведет себя как астатическая.

На рис. 51 представлен реверс электропривода. В данном режиме работает блок реактивной нагрузки. На рис. 52 работает режим ограничения крутящего момента. Это необходимо когда привод доехал до крайних положений, или произошел заклин механической части, например редуктора. В имитационной модели эта ситуация реализован путем линейного нарастания момента нагрузки.

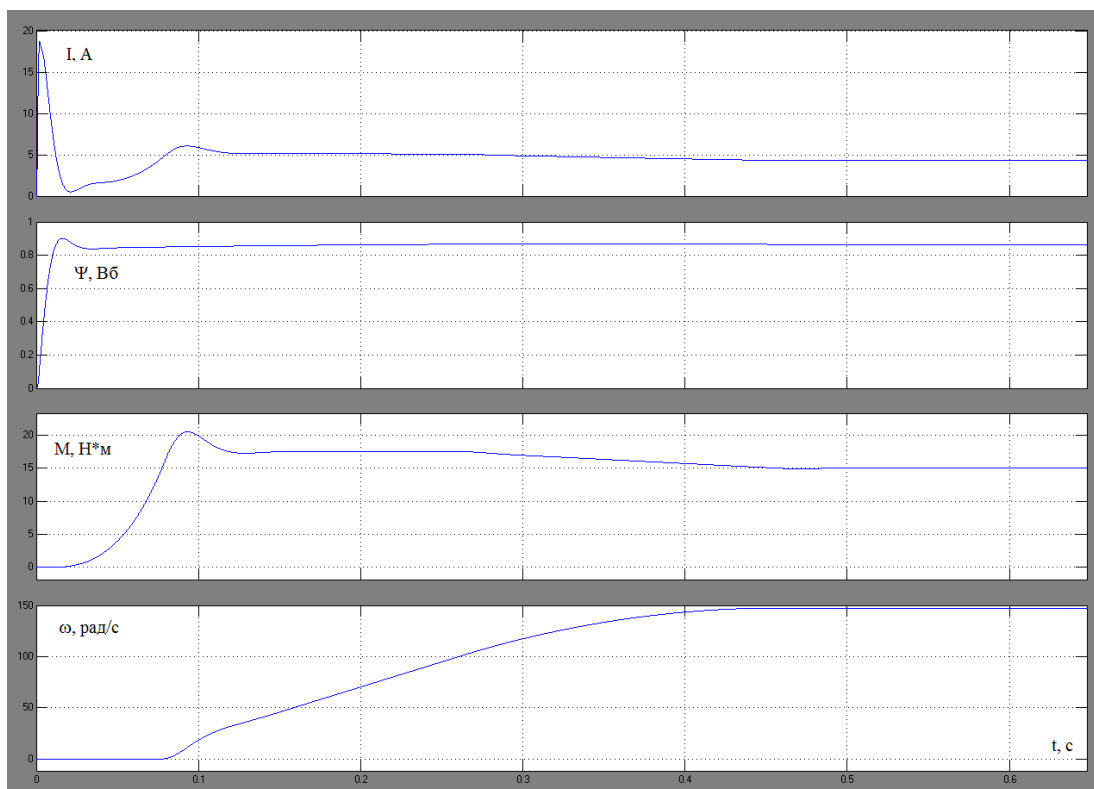


Рисунок 49 – Переходные процессы пуска двигателя под нагрузкой  $M_c=15$  Нм

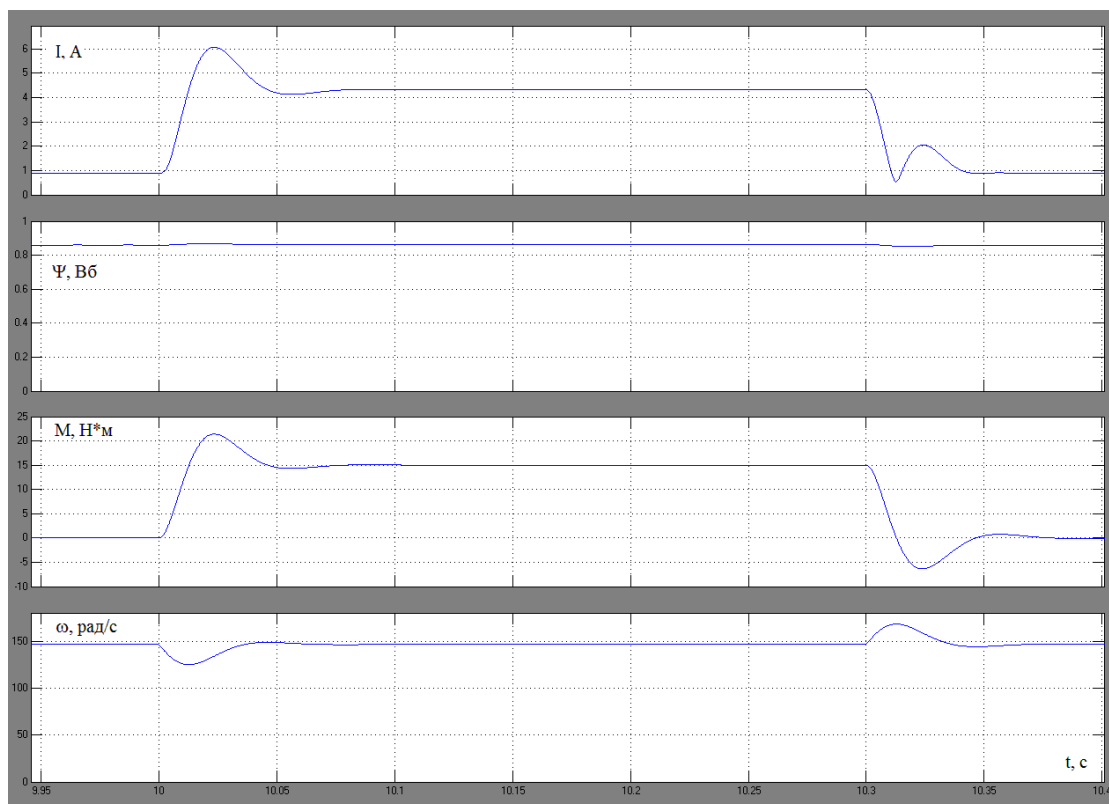


Рисунок 50 – Переходные процессы наброса и сброса нагрузки  $M_c=15$  Нм

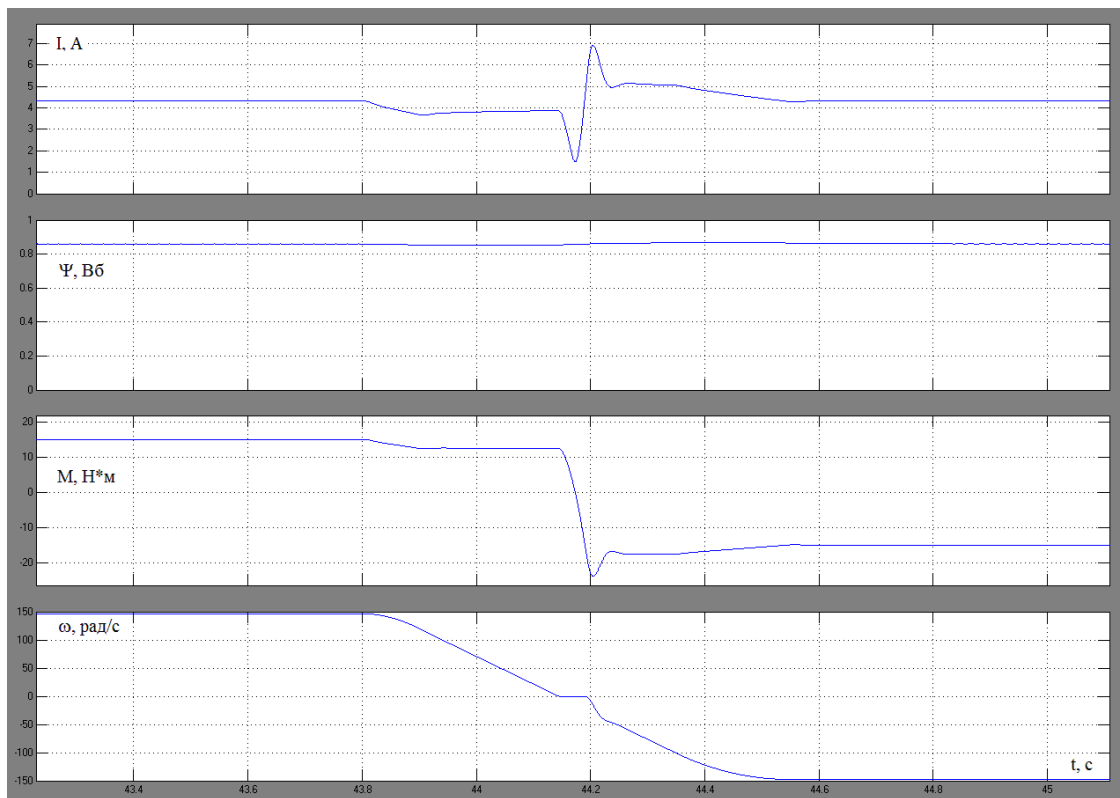


Рисунок 51 – Переходный процесс реверса электропривода

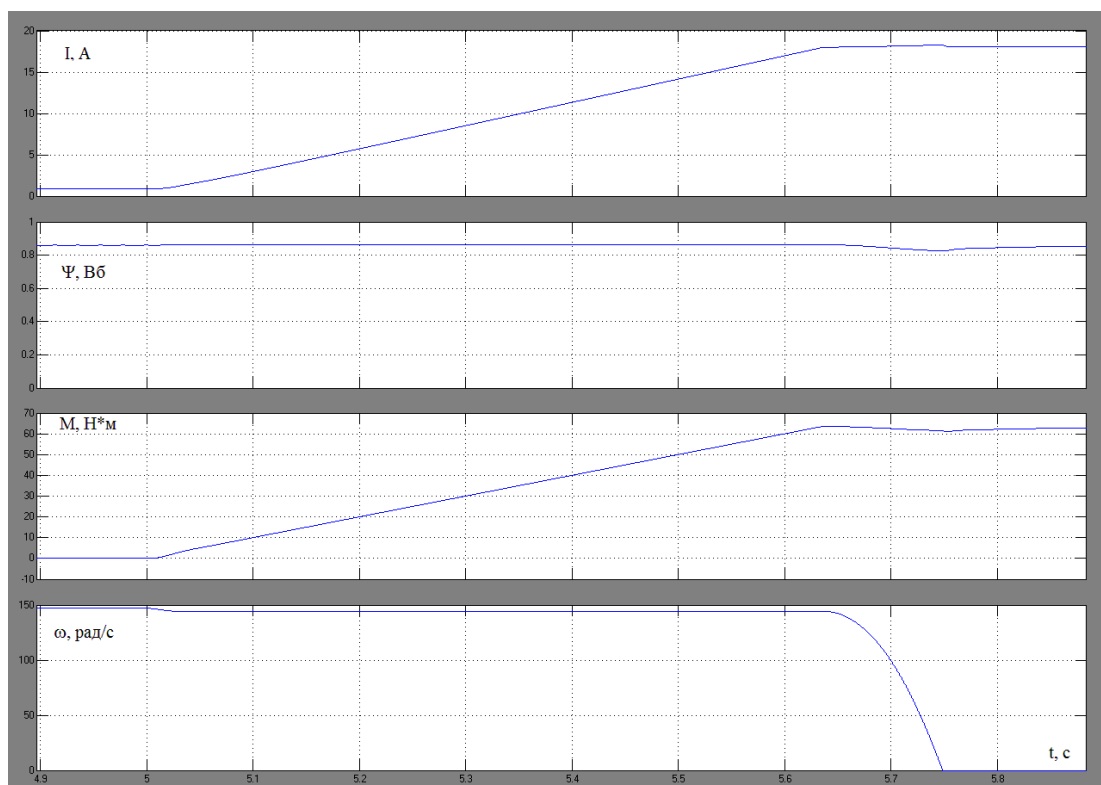


Рисунок 52 – Процесс отработки ограничения момента

На рис. 53 представлен переходный процесс положения выходного звена электропривода при полном закрытии и полном открытии. Полный ход занимает около 90 с.

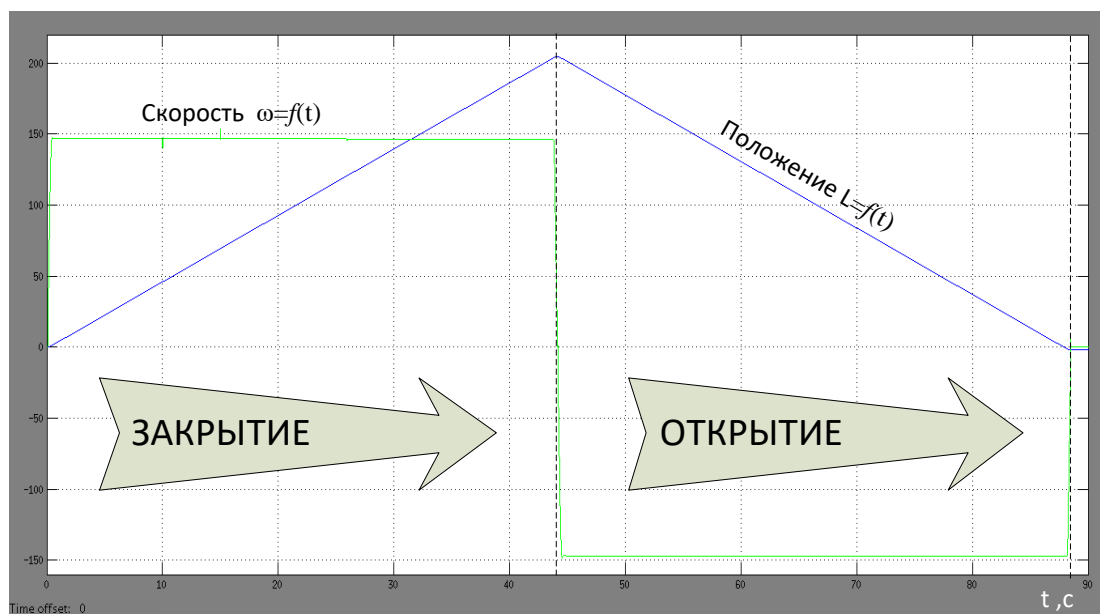


Рисунок 53 – Отработка по положению выходного органа

Исходя из полученных графиков мы можем видеть, что электропривод отрабатывает входные воздействия. Параметры системы в процессе моделирования не превышают пороговых. Процесс закрытия и открытия задвижки происходит в необходимых временных рамках  $t=44$  сек (рис. 64) и с заданным моментом.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5ГЗА1	Шутов Евгений Николаевич

<b>Школа</b>	<b>Ишэ</b>	<b>Отделение</b>	Электроэнергетика и электротехника
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	Электроэнергетика и электротехника

### Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов проектной работы: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	- Примерный бюджет проекта 200 тыс.руб.; - В исследовании задействованы 2 человека: руководитель проекта, инженер-разработчик; - Проект выполняется на базе лаборатории ТПУ
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	- Проект выполняется в соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность» В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность» - Минимальный размер оплаты труда (по 2018 году) составляет 9489 руб.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	-Отчисления во внебюджетные фонды – 30,2% от ФОТ

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения проектной работы с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	- Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование, - Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения -Планирование научно-исследовательских и пуско-наладочных работ - Определение научно-технической эффективности проекта
2. <i>Планирование и формирование бюджета проектной работы</i>	- Планирование работ по проекту, -Расчет бюджета затрат проекта по внедрению частотного электропривода -Расчет капитальных вложений в основные средства
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	- Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности исследования

### Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка технического уровня новшества
2. Смета затрат
3. График Ганта

**Дата выдачи задания для раздела по линейному графику**

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова С.Н.	К.э.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗА1	Шутов Евгений Николаевич		

## **6.ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение ресурсной эффективности проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

В данном разделе будут рассмотрены:

- Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование,
- Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения,
- Планирование научно-исследовательских и пуско-наладочных работ,
- Определение научно-технической эффективности проекта,
- Планирование работ по проекту,
- Расчет бюджета затрат проекта по внедрению частотного электропривода,
- Расчет капитальных вложений в основные средства,
- Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности исследования.

Разработка НИР производится группой квалифицированных работников, состоящей из двух человек – руководителя и студента

### **6.1. Инициализация проекта**

Проект посвящен разработке и внедрению электропривода клиновой задвижки, выбору преобразователя частоты.

Клиновая задвижка диаметром 200мм предназначена для управления потоками сред путем отключения трубопроводов или их участков , распределение потоков по требуемым направлениям , регулирования различных параметров среды (давления  $P$ , расхода  $G$ , и т.д.), выпуска среды по требуемому направлению путем изменения проходного сечения в рабочем органе арматуры.

Разработка и внедрение в трубопроводной арматуре электропривода позволяет организовывать высокоэффективные автоматизированные системы управления технологическими процессами, дистанционно управлять технологическим процессом. Частотный электропривод снижает расходы на



электроэнергию и эксплуатационные расходы, позволяет повысить надежность и безопасность работы трубопроводов.

Целевым рынком сбыта для разрабатываемого устройства являются предприятия нефтегазовой отрасли. Вместе с тем, аналогичные схемные решения электропривода трубопроводной арматуры, включенного в технологическую линию, можно использовать в различных отраслях промышленности: металлургической, химической .

Ограничений по срокам выполнения проекта нет, примерный бюджет проекта 200 тыс. руб.

### **6.1.1 Анализ конкурентных технических решений**

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты (см. табл.1). Для этого необходимо отобрать не менее трех-четырех конкурентных товаров и разработок

При разработке электропривода в отдающем устройстве разработчик руководствовался следующими соображениями: стоимость двигателя постоянного тока больше чем асинхронного двигателя, затраты на его эксплуатацию больше (в сравнении с асинхронным двигателем). Выпуск двигателей постоянного тока сокращается, электропривод постоянного тока заменяется электроприводом переменного тока. Решено использовать электропривод переменного тока с частотным регулированием.

Рассматривалось три варианта исполнения электропривода:

1. Преобразователь частоты (далее ПЧ) фирмы Schneider Electric модель ATV31CU15N4, двигатель АИМ-80В; мощностью 1,5 кВт, 1500 об/мин
2. ПЧ фирмы Bosch модель FVCA01.2-1K50-3P4-MDA-LP-NNNN-02VRS, двигатель АИМ-80В; мощностью 1,5 кВт, 1500 об/мин

3. ПЧ фирмы Siemens модель G120C, двигатель АИМ-80В; мощностью 1,5 кВт, 1500 об/мин

Таблица 15. Стоимость комплекта.

Наименование комплектующих	Вариант исполнения					
	1		2		3	
	марка	стоимость	марка	стоимость	марка	стоимость
ПЧ	Schneider Electric ATV31CU 15N4	24 648	Bosch Rexroth FV	30166	SINAMICS G120C	37907
Двигатель	АИМ-80В	7045	АИМ-80В	7045	АИМ-80В	7045
Коммут. аппаратура	комплект	15180	комплект	15180	комплект	15180
Сумма за комплект	46909		52391		60132	

Производим выбор варианта (комплекта) с использованием метода экспертных оценок.

Для проведения оценки выбраны следующие показатели: *технические* – производительность, помехозащищенность, точность, плавность протекания процессов, степень стандартизации и унификации, удобство управления, шум при работе и *экономические* – капитальные вложения, затраты на эксплуатацию, надежность.

По выбранным критериям с помощью экспертов необходимо присвоить коэффициент весомости, отражение их важности.

По каждому критерию необходимо установить оценку степени обеспечения:

Цели	низкий	средний	высокий (выше средней)
Уровень цели Оценка обеспечения цели	1.0	0.5	0

*Таблица 16. Сравнительная характеристика электроприводов*

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			примечание
		1	2	3	
1	2	3	4	5	4
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>					
1. Производительность	1	0	0	0	равная у всех комплектов
2. Помехозащищенность	0,5	0	0,5	0	
3. Точность	0,5	0	0	0	у 3-го комплекта точность выше, но у всех комплектов достаточная
4. Плавность протекания процессов	0,5	0	0	0	
5. Удобство встройки	0,2	0	0,5	0	дополнительные затраты на модуль связи
6. Степень стандартизации унификации	0,3	0	1	0,5	2-й комплект - модуль связи, 3-й двигатель больших размеров
7. Удобство управления	0,5	0	0,5	0	
8. Шум при работе	0,1	0,5	0,5	0	3-й комплект имеет лучшие показатели, т.к. ПЧ и АД одного производителя
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>					
9. Капитальные вложения	1	0	0,5	0,5	
10. Затраты на эксплуатацию	0,8	0	0	0	
11. Надежность	0,8	0	0,5	0	надежность 2-го комплекта ниже, т.к. модуль связи произведен штучно, а не серийно
<b>Итого</b>		<b>0,05</b>	<b>1,85</b>	<b>0,65</b>	

В результате сравнения и оценки критериев выбран первый вариант исполнения, т.к. у него оптимальные технические показатели при выгодной стоимости проекта. Далее расчеты производятся для комплекта оборудования с ПЧ фирмы Schneider Electric.

## 6.2 Планирование научно-исследовательских и пуско-наладочных работ

Планирование необходимо для обеспечения оптимального ведения работ, уменьшение затрат, увеличение производительности труда.

### 6.2.1 Планирование научно-исследовательских работ по проекту

Этапы и содержание НИР сведены в таблицу 3.

Трудоемкость характеризуется количеством живого труда, затраченного на изготовление какой либо продукции. Все этапы работы и значения трудоемкости занесены в календарный план-график, таблица 17.

*Таблица 17. Этапы и содержание НИР*

<b>Основные этапы</b>	<b>№ раб</b>	<b>Содержание работ</b>	<b>Должность исполнителя</b>
1. Разработка технического задания	1.1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы
2. Поиск и подбор технической документации	2.1.	Подбор и изучение технических паспортов , спецификаций по теме проекта	Инженер
3. Расчет параметров, выбор двигателя и ПЧ	3.1.	Расчет мощности двигателя	Инженер
	3.2.	Расчет момента инерции	Инженер
	3.3.	Выбор преобразователя частоты	Инженер
	3.4.	Расчет параметров элементов структурной схемы силового канала. Оптимизация контуров	Инженер
	3.5.	Разработка электрической схемы привода.	Инженер
	3.6.	Анализ результатов	Руководитель, инженер
4. Моделирование работы привода	4.1.	Разработка программы исследований модели	Руководитель, инженер
	4.2.	Создание имитационной модели в среде Simulink программы Matlab	Инженер
	4.3.	Исследование нелинейной САУ СЭП асинхронного привода с векторным управлением	Инженер
	4.4.	Исследование нелинейной САУ СЭП в заданных режимах работы	Инженер
	4.5.	Исследование двухмассовой системы САУ СЭП	Инженер
5. Обобщение и оценка результатов, сдача проекта	5.1	Оценка результатов. Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель, инженер

Таблица 18. Календарный план-график  
НИР

Этап	Название	Исполнитель	t-емкость, дней		апрель															май																				
			рабочие	клендарные	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	1	1	■		■	■						■	■					■							■	■	■						■	■				
		Инженер																																						
2	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель					■	■	■					■	■					■							■	■	■						■	■				
		Инженер	3	5		■	■	■	■	■																														
3	Расчат параметров, выбор двигателя и ПЧ	Руководитель	1	1			■	■						■	■					■					■		■	■	■						■	■				
		Инженер	11	15							■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■														
4	Моделирование работы привода	Руководитель	1	1			■	■						■	■					■					■		■	■	■						■	■				
		Инженер	6	11																				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
5	Обобщение и оценка результатов	Руководитель	3	3			■	■						■	■					■						■	■	■							■	■	■	■	■	■
		Инженер	3	3																																■	■	■	■	

### **6.2.2 Планирование пуско-наладочных работ**

Пуско-наладочные работы являются завершающим звеном производства линии, обеспечивающие ввод в эксплуатацию объект. Ниже рассмотрены основные этапы проведения ПНР на линии. Работы выполняются высококвалифицированными специалистами и рабочими по заранее разработанным и согласованным программам. Электротехнические ПНР, согласно [1], должны обеспечивать проверку и испытание электрооборудования в соответствии с действующими правилами устройства электроустановок, технической документацией предприятия-изготовителя оборудования и другими нормативными документами, а также получение заданных проектом электромеханических параметров работы оборудования.

Результат проверок, снятие характеристик аппаратуры, испытания и других работ, входящих в комплекс наладки электроустановок, оформляются в виде протоколов установленной формы, которые прикладываются к акту сдачи объекта в эксплуатацию.

Проведению ПНР в короткие сроки и с высоким качеством в значительной степени способствуют подготовительные мероприятия:

- заблаговременное ознакомление с проектом электроустановки, выявление неточностей, пробелов и других дефектов проекта;
- выявление и подсчёт объёма ПНР, определение необходимого количества наладочного персонала;
- подготовка комплектов наладочной аппаратуры и инструмента;
- составление рабочего графика проведения ПНР и согласование его с монтажной организацией и заказчиком;
- внешний осмотр электрооборудования и установка количества электромонтажных работ;
- определения технических характеристик электрооборудования;
- составление рабочей программы испытаний и наладки электрооборудования с учётом особенностей настраиваемого объекта.

Для того чтобы качественно и в короткие сроки произвести наладку электрооборудования и электрических схем, необходимо хорошее знание данного оборудования, проектные схемы и расчёты электрических параметров. Поэтому наладочный персонал комплектуется из опытных и квалифицированных специалистов.

Цены на проведение ПНР определены, исходя из сложности серийно выпускаемых, освоенных промышленностью электрических устройств, в соответствии с требованиями 3 части СНиП "Организация, производство и приём работ" и технических условий на изготовление и поставку электротехнических устройств.

При составлении смет или расчёте на выполнение работ, когда договором предусматривается промежуточная оплата, следует руководствоваться структурой ПНР, приведённой в таблице 19.

*Таблица 19. Структура ПНР*

№	Состав работы	Стоимость ПНР (%) от общей сметной стоимости
1	Подготовительные работы	10
2	Наладочные работы, проводимые до индивидуальных испытаний технологического оборудования	40
3	Наладочные работы в период индивидуальных испытаний технологического оборудования	30
4	Комплексное опробование	15
5	Оформление отчётной и приемно-сдаточной документации	5

Ценами учтены затраты на следующие работы:

1. Подготовительные работы - организаторскую и инженерную подготовку работ; изучение электротехнической части проекта и ознакомление с технической документацией; получение от заказчика согласованных установок

устройств защиты и автоматики; подготовку парка приборов, а также программ наладки и комплекта протоколов.

2. Внешний осмотр электрооборудования на соответствие проекту; проверку и настройку отдельных элементов и функциональных групп; сборку испытательных схем; проверку параметров и снятие характеристик отдельных устройств; измерение сопротивления изоляции; проверку соединения обмоток; регулировку релейной аппаратуры.

3. Наладку электрооборудования под напряжением, включая силовые цепи; снятие и получение необходимых характеристик, сопоставление их с расчётными данными проекта; испытание и наладку оборудования вхолостую и под нагрузкой совместно с технологическим оборудованием.

4. Обеспечение взаимных связей устройств в составе электроустановки и механизмов в составе агрегата; согласование входных и выходных параметров и характеристик отдельных механизмов в составе агрегата; обеспечение на агрегатах электрических и электромеханических параметров и режимов, предусмотренных проектом.

Составление в одном экземпляре протоколов ПНР и испытаний; внесение в протокол схем, которые были изменены в процессе работы.

*Таблица 20. Этапы и содержание ПНР*

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
1. Подготовительный этап	1.1.	Ознакомление с проектом, выявление неточностей. Составление рабочего графика проведения ПНР.	Руководитель , представитель заказчика, бригада наладчиков
	1.2.	Подготовка аппаратуры и инструмента;	Бригада наладчиков
	1.3.	Внешний осмотр электрооборудования и проверка готовности;	Бригада наладчиков
	1.4.	Определение соответствия техническим характеристикам;	Бригада наладчиков
	1.5.	Составление рабочей программы испытаний и наладки с учетом особенностей объекта.	Бригада наладчиков



Таблица 20. Продолжение

2. Проверочные работы:	2.1.	Проверка количества электромонтажных работ и их соответствие к рабочим чертежам проекта	Бригада наладчиков
	2.2.	Проверка установленной аппаратуры, градуировка и снятие в необходимых случаях характеристик	Бригада наладчиков
	2.3.	Проверка правильности выполнения схем	Бригада наладчиков
	2.4.	Проверка работы электрических систем, блокировок и автоматики.	Бригада наладчиков
3. Наладочные работы:	3.1.	Ввод параметров двигателя преобразователь частоты, проверка работы системы;	Бригада наладчиков
	3.2.	Проверка работы и функционирования блоков сигнализации и защиты	Бригада наладчиков
	3.3.	Ввод параметров системы преобразователь частоты	Бригада наладчиков
	3.4.	Проверка диапазона изменения напряжения преобразователя , настройка устройства задания скорости	Бригада наладчиков
	3.5.	Итоговая проверка защиты	Бригада наладчиков
	3.6.	Настройка и снятие необходимых характеристик элементов автоматического управления в соответствии с требованиями технологического процесса, испытание оборудования в холостую	Бригада наладчиков
4. Комплексное опробование	4.1.	Обеспечение взаимных связей устройств в составе электрической установки;	Бригада наладчиков
	4.2.	Согласование входных и выходных параметров на входе и выходе характеристик отдельных механизмов	Бригада наладчиков
	4.3.	Проверка режимов работы системы при управлении с пульта управления	Бригада наладчиков
1. Оформление документации	5.1.	Составление протоколов ПНР	Бригада наладчиков
	5.2.	Приемка линии. Внесение в один экземпляр принципиальных схем проекта и изменений, внесенных во время ПНР	Руководитель , представитель заказчика, бригада наладчиков

### 6.2.3 Состав бригады для проведения ПНР

Число членов бригады и распределение объёмов ПНР между членами бригады зависит от профессиональной подготовки наладчиков и их практического опыта, а также диктуется рядом требований к ПНР:

1. Работы характеризуются узкой специализацией, сложностью.
2. По правилам и нормам эксплуатации и настройки электрооборудования напряжением до 1000 В запрещаются работы на оборудовании, находящемся под напряжением, менее чем двум членам бригады.

Распределение объёма работ между членами выполняет бригадир, как опытный специалист, знающий каждого члена бригады. Продолжительность выполнения любой операции на каждом этапе зависит от технической сложности. Состав бригады, выполняющей ПНР приведён в таблице 21.

*Таблица 21. Состав бригады, выполняющей ПНР*

	Состав бригады	Категория
1	Инженер-наладчик (бригадир)	I
2	Инженер-наладчик	II
3	Инженер-наладчик	III

С бригадой наладчиков, производящих ПНР, заключено трудовое соглашение, в котором оговорён срок проведения работ и сумма, на которые заключается соглашение. Срок проведения ПНР составляет 11 рабочих дня продолжительностью 8 часов.

Распределение объёма и времени выполнения ПНР по этапам отражено в таблице 22.

*Таблица 22. Распределение времени выполнения ПНР*

№	Члены бригады	Время выполнения работ по этапам, раб.дни				
		1	2	3	4	5
1	Инженер-наладчик (бригадир)	1	4	3	2	1
2	Инженер-наладчик	1	4	3	2	1
3	Инженер-наладчик	1	4	3	2	1

По таблице 8, согласно, строим календарный график, на июнь месяц 2018 года, проведения ПНР (таблица 22.).

Таблица 9. календарный план-график ПНР

Этап	Исполнит.	t-емкость, дни		Выполнение ПНР по дням																														
		Рабочие	Календ-е	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
1 – ый	Инженер – наладчик I (бригадир)	1	1	—																														
	Инженер – наладчик II	1	1	—																														
	Инженер – наладчик III	1	1	—																														
2 – ой	Инженер – наладчик I (бригадир)	4	6		—	—	—	—	—	—																								
	Инженер – наладчик II	4	6		—	—	—	—	—	—																								
	Инженер – наладчик III	4	6		—	—	—	—	—	—																								
3 – ий	Инженер – наладчик I (бригадир)	3	5								—	—	—	—	—																			
	Инженер – наладчик II	3	5								—	—	—	—	—																			
	Инженер – наладчик III	3	5								—	—	—	—	—																			
4 – ый	Инженер – наладчик I (бригадир)	2	2													—	—	—																
	Инженер – наладчик II	2	2													—	—	—																
	Инженер – наладчик III	2	2													—	—	—																
5 – ый	Инженер – наладчик I (бригадир)	1	1															—	—															
	Инженер – наладчик II	1	1															—	—															
	Инженер – наладчик III	1	1															—	—															

## 6.3 Расчет бюджета проекта по внедрению частотного электропривода

### 6.3.1 Смета затрат на НИР

затраты на научно-техническое проектирование

Таблица 23 - Месячный оклад работников

№	Проектная группа	Оклад
1	Инженер	17000
2	Руководитель	33664

ЗП исполнителей в месяц с учетом коэффициентов  $K_1$  и  $K_2$ :

$$ЗП_{\text{мес}} = ЗП_0 \cdot K_1 \cdot K_2, \text{ где}$$

$ЗП_0$  – месячный оклад работника;

$K_1 = 1,1$  – коэффициент, учитывающий отпуск (10%);

$K_2 = 1,3$  – районный коэффициент (30%).

$$ЗП_{\text{мес(инж)}} = 17000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 24300 \text{руб/мес.};$$

$$ЗП_{\text{мес(Р)}} = 33664 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 48140 \text{руб/мес.}$$

В месяце 21 рабочий день.

Тогда заработная плата  $ЗП_{\text{ор}}$  каждого участка в соответствии таб.23:

$$ЗП_{\text{ор}} = \frac{ЗП_{\text{мес}}}{21} \cdot n, \text{ где}$$

$n$  – количество дне в проекте.

$$ЗП_{\text{инж}} = \frac{ЗП_{\text{мес(инж)}}}{21} \cdot n = \frac{24300}{21} \cdot 23 = 26614,3 \text{руб.}$$

$$ЗП_{\text{НР}} = \frac{ЗП_{\text{мес(Р)}}}{21} \cdot n = \frac{48140}{21} \cdot 6 = 13754,3 \text{руб.}$$

Основные затраты на заработную плату исполнителей за весь период работы составит:

$$K_{з/пл} = ЗП_{инж} + ЗП_{р} = 26614,3 + 13754,3 = 40368,6 \text{руб}$$

Расчет сметы затрат на выполнение проекта выполняем согласно метода сметных калькуляций по отдельным статьям расходов, всех видов необходимых ресурсов.

*Таблица 24 – Смета затрат на НИР*

Статьи расхода	сумма	Примечания
	руб.	
1. Материальные затраты	46909	Комплектующие
2. Специальное оборудование	-	Стенды, приборы, установки, программы
3. Основная заработная плата научно-производственного персонала	40368,6	Трудоемкость нормо-д, Стоимость 1-го нормо-д.
4. Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала	4036,8	10% от ст.3
5. Отчисления во внебюджетные фонды	12033,9	27,1%( ст.3+ст.4)
6. Накладные расходы	16535,7	16% от ст.1-5
7. Годовая сметная стоимость проекта	119883,7	

### 6.3.2Смета затрат на ПНР

Таблица 25. Дополнительные затраты по заработной плате

№	Наименование статей	Плановые (руб.)	Примечание
1	Стоимость работ	19156,31	
2	Районный коэффициент	5746,89	30% от п. 1
3	Коэффициент, действующий при проведении ПНР в зоне работы действующего оборудования	1915,63	10% от п. 1
4	Коэффициент, учитывающий работы на установке, находящейся под напряжением	5746,89	30% от п. 1
5	Основная заработная плата, включая доплаты	32565,72	п.1+п.2+п.3+п.4
6	Дополнительна заработная плата	3256,57	10%отп.5
7	Итого	35882,29	п.5+п.6

Затраты предприятия на проведение пуско-наладочных работ приведены в таблице 26.

Таблица 26. Общая стоимость затрат на проведение ПНР

№	Наименование статей	Плановые (руб.)	Примечание
1	Заработная плата	35882,29	
2	Отчисления в внебюджетные Фонды	10746,69	30%от п.1
3	Накладные расходы	5741,17	16% от п.1
4	Себестоимость работ	52370,15	п.1+ п.2+п.3

### **6.3.3 Расчет расходов при эксплуатации электропривода (стоимости силовой электроэнергии)**

Эксплуатационные расходы включают следующие статьи затрат:

- Заработная плата обслуживающего персонала
- Затраты на ремонт
- Расходы на материалы, связанные с эксплуатацией

#### **6.3.4 Заработная плата обслуживающего персонала**

Обслуживание частотного электропривода, двигателя и редуктора входит в обязанности оперативно-ремонтного персонала ремонтной службы предприятия.

При выполнении работы наладчик автоматических линий имеет повременную оплату труда. Оплата труда включает в себя основную и дополнительную заработную плату. К основной относится оплата, начисленная за проработанное время на предприятии и различные доплаты (сверхурочная работа, работа в выходные дни, региональные надбавки, премии, районный коэффициент).

Оклад наладчика автоматических линий по присвоенному 6 разряду: 9100 руб.

Дневная заработная плата:

$$З_{\text{НАЛ}} = \frac{(1.3 \cdot З_{\text{Т}} + \text{Надб}) \cdot P_{\text{К}}}{F_{\text{Д}}};$$

где  $З_{\text{Т}}$  – оклад в месяц;

$\text{Надб} = 3000 \text{руб}$  надбавка за сложность;

1.4 – доплата за должность;

$P_{\text{К}} = 1.3$  – коэффициент, учитывающий районное регулирование;

$F_{\text{Д}} = 22$  количество рабочих дней в месяц.

Рассчитаем основную зарплату:

$$З_{НАЛ} = \frac{(1,4 \cdot 1,3 \cdot 9100 + 3000) \cdot 1,3}{22} = 876,32 \text{руб/дн}$$

Основная заработная плата за период работы:

$$З_{ОСН} = З \cdot \tau_p ;$$

где  $\tau_p$  – период рабочего времени:

$\tau_p = 247$  – период рабочего времени– 1 год (в 2018 году 247 рабочих дней);

Рассчитаем основную заработную плату за год:

$$З_{ОСН} = З_{НАЛ} \cdot \tau_p = 876,32 \cdot 247 = 216\,450,60 \text{ (руб)};$$

Дополнительная заработная плата – это выплаты за неотработанное время (оплата отпусков и т. д.).

Дополнительная заработная плата рассчитывается:

$$З_{ДОП} = 0,15 \cdot З_{ОСН} ;$$

Рассчитаем дополнительную зарплату:

$$З_{ДОП} = 0,15 \cdot З_{ОСН} = 0,15 \cdot 216\,450,60 = 32\,467,59 \text{ (руб)};$$

Суммарная зарплата:

$$З_{\Sigma} = З_{ОСН} + З_{ДОП} = 216\,450,60 + 32\,467,59 = 249\,918,18 \text{ (руб)}.$$

Расчет затрат на оплату труда сведем в таблицу 27

*Таблица 27. Затраты на оплату труда*

	Исполнитель
Основная з/пл, руб.	216 450,60
Дополнительная з/пл, руб.	32 467,59
Итого	249 918,18

Отчисления на социальное страхование

Страховые отчисления на сегодняшний день по существующему законодательству составляет 30,2 %:

$$30,2\% \cdot З_{\Sigma} = 0,302 \cdot 249\,918,18 = 74\,675,46 \text{ (руб)};$$

Обязанности по обслуживанию занимают 10% рабочего времени наладчика. Зарплата обслуживающему персоналу в год составит:



$$З_{\text{ПЕР}}=249\,918,18 \cdot 0,1=24\,991,82 \text{ (руб/год)}.$$

### **6.3.5 Общая сумма эксплуатационных расходов**

Общая сумма эксплуатационных расходов складывается из затраты на силовую энергию  $C_{\Sigma}$  и зарплаты обслуживающего персонала  $З_{\text{ПЕР}}$ .

$$P_{\Sigma}=C_{\Sigma} +З_{\text{ПЕР}}= 19\,519+24\,991,82=44\,510,28 \text{ (руб/год)}$$

При расчетах общих затрат на эксплуатацию расходы на электроэнергию составили 19519 (руб/год), заработная плата обслуживающего персонала 24991 (руб/год). Общая сумма эксплуатационных расходов составила 44510,28 (руб/год).

В результате сравнения и оценки критериев комплектов электроприводов выбран преобразователь частоты фирмы Schneider Electric модель ATV31CU15N4, двигатель АИМ-80В мощностью 1,5 кВт, 1500 об/мин, т.к. у данного комплекта оптимальные технические показатели при выгодной стоимости проекта.

Были составлены графики проведения ПНР, определено количество работников, рассчитаны затраты. Работы были проведены за 11 рабочих дня бригадой из трех человек.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5ГЗА1	Шутов Евгений Николаевич

Школа	Ишэ	Отделение	Электроэнергетика и электротехника
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	1. Асинхронный электропривод запорно-регулирующей арматуры газотранспортной системы для транспортировки или регулировки газа в закрытом помещении.
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<b>1. Производственная безопасность</b> 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при эксплуатации проектируемого изделия. 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при эксплуатации проектируемого изделия.	1.1 Анализ вредных факторов: Повышенная запыленность и загазованность; Повышенный уровень шума; Повышенный уровень вибрации; 1.2 Анализ опасных факторов: Движение механических частей; Электробезопасность; Угроза система повышенного давления;
<b>2. Экологическая безопасность:</b>	2.1 Загрязнение воздушного бассейна
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	3.1 Пожарная безопасность. 3.2 Факторы техногенной ЧС. 3.3 Меры предупреждения ЧС.
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b>	- Специальные правовые нормы трудового законодательства. -Эргономичность рабочей зоны.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

### Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И.Л.			

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗА1	Шутов Евгений Николаевич		

## **7. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

### **Введение**

В данном разделе ВКР рассматривается влияние и воздействие эксплуатации асинхронного электропривода запорно-регулирующей арматуры газотранспортной системы в закрытом помещении на персонал, непосредственно связанный с эксплуатацией арматуры, а так же аспекты влияния на окружающую среду, с учетом специфики данного объекта.

### **7.1 Производственная безопасность и обеспечение безопасности.**

Эксплуатация электропривода ТА для транспортировки (регулирования расхода) газа является работой повышенной опасности, вследствие потенциальной возможности влияния опасных и вредных факторов.

#### **7.1.1 Анализ вредных факторов.**

##### Повышенная запыленность и загазованность рабочей зоны.

Химические вещества вызывают расстройства нервной системы, мышечные судороги, влияют на кроветворные органы, взаимодействуют с гемоглобином крови, воздействуют на слизистые оболочки и дыхательные пути.

Источником загазованности вредными химическими веществами является утечка, нарушение герметичности соединений, либо прорыв газопровода.

Контроль воздушной среды должен проводиться в зоне дыхания при характерных производственных условиях. Этот контроль осуществляется посредством газоанализатора или рудничной лампы. Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно допустимых концентраций (ПДК).

Предельно допустимая концентрация пыли, как вещества умеренно опасного, в воздухе рабочей зоны составляет  $1,1-10 \text{ мг/м}^3$ , для смеси газа пропан–бутана ПДК равно  $300 \text{ мг/м}^3$ . ПДК транспортируемых газов, вредных примесей и некоторых применяемых веществ[8]:

– Смесь пропан-бутана по санитарным нормам относится к 4–му классу опасности (малоопасные вредные вещества со значением ПДК в пересчете на углерод) – 300 мг/м<sup>3</sup>.

– ПДК сероводорода в присутствии углеродов (C1–C5) – 3 мг/м<sup>3</sup> (3–й классу опасности).

– ПДК сернистого газа (SO<sub>2</sub>) в воздухе рабочей зоны 10 мг/м<sup>3</sup> (3 класс – умеренно опасные вредные вещества).

– ПДК метанола (CH<sub>3</sub>OH) в воздухе рабочей зоны (по санитарным нормам) – 5 мг/м<sup>3</sup>. (3 – класс опасности)

При работе в местах, где концентрация вредных веществ в воздухе может превышать ПДК, работников должны обеспечивать соответствующими противогазами.

Уменьшение неблагоприятного воздействия запыленности и загазованности воздуха достигается за счет регулярной вентиляции рабочей зоны.

Работающие в условиях пылеобразования должны быть в противопыльных респираторах, защитных очках и комбинезонах. Повышение уровней шума.

Шум отрицательно действует только на органы слуха. Люди, работающие в условиях шума, более быстро утомляются, жалуются на головные боли. Повышается давление крови, учащается или замедляется ритм сердечных сокращений, могут возникать различные заболевания нервной системы (неврастения, неврозы, расстройство чувствительности).

Интенсивный шум отрицательно действует на весь организм человека. Ослабляется внимание, снижается производительность труда.

Допустимый уровень шума на площадках скважин и на рабочих местах составляет 80 дБА. Запрещается даже кратковременное пребывание в зоне с уровнями звукового давления, превышающими 135 дБА.[2]

Источниками звукового давления и уровней шума являются движение тяжелого (в том числе грузового) автотранспорта, работа насосного оборудования и приводной арматуры.

К коллективным средствам и методам защиты от шума относятся:

–Своевременное обслуживание оборудования и совершенствование технологии ремонта;

–Использование средств звукоизоляции (звукоизолирующие кожухи), средств звукопоглощения.

Также необходимо использовать рациональные режимы труда и отдыха работников.

В качестве СИЗ Государственным стандартом предусмотрены заглушки–вкладыши "Беруши", заглушающая способность которых составляет 6–8 дБА. В случаях более высокого превышения уровней шума следует использовать наушники. Наушники могут быть встроенными в головной убор или в другое защитное устройство.[5]

#### Повышение уровней вибрации.

Длительное воздействие вибрации на организм человека приводит к серьезным последствиям под названием «вибрационная болезнь». Это профессиональная патология, которая возникает в результате длительного влияния на организм человека производственной вибрации, превышающей предельно допустимый уровень (ПДУ).

Объектами повышения уровней вибрации являются площадки скважин и рабочие места. Источниками вибраций являются движение тяжелого (в том числе грузового) автотранспорта, работа насосного оборудования и приводной арматуры (задвижки, дисковые затворы и т.п.).

Для первой категории общей вибрации, по санитарным нормам скорректированное по частоте значение виброускорения составляет 62 дБ, а для виброскорости – 116 дБ. Наиболее опасной для человека является вибрация с частотой 6-9 Гц.[3]

Вибробезопасные условия труда должны быть обеспечены:

- применением вибробезопасного оборудования и инструмента;
- применением средств виброзащиты, снижающих воздействие на работающих вибрации на путях ее распространения от источника возбуждения;
- организационно-техническими мероприятиями.

### **7.1.2 Анализ опасных факторов.**

#### Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования.

В нашей работе движущимися частями обладают асинхронный привод и арматура, которые находятся в закрытом корпусе и защищены от попадания посторонних предметов.

Движущиеся части должны быть ограждены или расположены так, чтобы исключалась возможность прикасания к ним работающего или использованы другие средства, предотвращающие травмирование.

Также необходимо соблюдать технику безопасности при работе оборудования, машин и механизмов, а их эксплуатацию должны выполнять только лица, имеющие на это право.

#### Поражение электрическим током.

Источником поражения человека электрическим током могут являться токоведущие части с нарушенной изоляцией, корпус объекта с нарушением нулевого заземления, несоблюдение техники безопасности.

Для предупреждения возможности случайного прикосновения к токоведущим частям, находящимся под напряжением, используют защитные сетчатые и смешанные ограждения (переносные временные ограждения и плакаты). Ограждению подлежат неизолированные токоведущие части выключателей, подающих напряжение на установки.

Предусмотреть технические средства электробезопасности: применение малых напряжений (12 - 42 В), защитное заземление (4 - 10 Ом), устройство защитного отключения.

Для защиты от поражения электрическим током персонала используются следующие средства индивидуальной защиты: диэлектрические перчатки и галоши, резиновые коврики, изолирующие подставки.

Для защиты от электрической дуги и металлических искр при сварке необходимо использовать: защитные костюмы, защитные каски или очки и т.п.

Защита взрывоопасных сооружений и наружных установок от прямых ударов молнии выполняется отдельно стоящими стержневыми молниеотводами и прожекторными мачтами с молниеотводами. Все металлические, нетоковедущие части электрооборудования, которые могут оказаться под напряжением вследствие нарушения изоляции, заземляются, т.е. присоединяются к многократно заземляющемуся нулевому проводу.

Для защиты от электрической индукции и отвода зарядов статического электричества все технологическое оборудование и аппараты заземляются путем присоединения к защитному контуру заземления или специально сооружаемому для этой цели очагу заземления.

Предусматривается глухое заземление нейтрали силовых трансформаторов на стороне низкого напряжения. Сопротивление заземляющего устройства не должно превышать 4 Ом.

Для обеспечения безопасности обслуживающего персонала от поражения электрическим током предусматривается защитное зануление и устройства защитного отключения (УЗО).

Все металлические части электроустановок, нормально не находящиеся под напряжением, подлежат занулению путем электрического соединения с глухозаземленной нейтралью источника питания посредством нулевых защитных проводников.

#### Оборудование и трубопроводы, работающие под давлением

Причинами разрушения или разгерметизации систем повышенного давления могут быть: внешние механические воздействия, старение систем (снижение механической прочности); нарушение технологического режима;

конструкторские ошибки; изменение состояния герметизируемой среды (газа); неисправности в контрольно–измерительных, регулирующих, запорных (трубопроводная арматура) и предохранительных устройствах; ошибки обслуживающего персонала и т. д.

Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования, работающего под давлением, распространяются:

- работающие под давлением пара или газа свыше 0,07 МПа;
- на баллоны, предназначенные для транспортирования и хранения сжатых, сжиженных и растворенных газов под давлением свыше 0,07 МПа;
- на цистерны и бочки для транспортирования и хранения сжиженных газов, давление паров которых при температуре до 50 °С превышает давление 0,07 МПа;
- на цистерны и сосуды для транспортирования или хранения сжатых, сжиженных газов, жидкостей и сыпучих тел, в которых давление выше 0,07 МПа создается периодически .

Специальные требования предъявляются к сварным швам. Они должны быть доступны для контроля при изготовлении, монтаже и эксплуатации, располагаться вне опор сосудов.

Сварные швы делаются только стыковыми. Ответственность за исправное состояние и безопасную эксплуатацию сосудов должна быть возложена на специалиста, которому подчинен персонал.

## **7.2. Экологическая безопасность.**

### **7.2.1 Воздушный бассейн.**

Основные источники загрязнения слоя атмосферы при трубопроводном транспорте газа - аварийные выбросы газа при отказах линейной части магистральных газопроводов и выбросы при проведении технологических операций. Для предупреждения неблагоприятных последствий загрязнения воздуха содержание вредных веществ в атмосфере регламентируется соответствующими нормативными документами. Для предотвращения



возможных выбросов необходимо поддержание всей трубопроводной системы, арматуры в исправном состоянии, контроль над состоянием оборудования, своевременный ремонт.

### **7.3.Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

#### **7.3.1 Пожарная безопасность**

Опасность эксплуатации связана с наличием в трубопроводе газопродуктов, которые при утечках способны образовывать с воздухом взрывоопасные и пожароопасные смеси.

Трубопровод, находящийся под давлением свыше 0,07 МПа, может привести в аварийном случае к выбросу вредных, взрывопожароопасных веществ в окружающую среду и к различным поражающим факторам.

К противопожарным мероприятиям в помещении относят следующие мероприятия:

- помещение должно быть оборудовано: средствами тушения пожара
- средства связи в помещении должны быть постоянно исправны. К средствам сигнализации относятся ручные пожарные извещатели;
- каждый сотрудник должен знать место нахождения средств пожаротушения и средств связи; помнить номера телефонов для сообщения о пожаре; уметь пользоваться средствами пожаротушения.

Помещение обеспечено средствами пожаротушения в соответствии с нормами. На 100 м<sup>2</sup> пола имеется:

- порошковый огнетушитель ОП-5 – 1 шт.;
- углекислотный огнетушитель ОУ-5 – 1 шт.;
- ящик с песком на 0,5 м<sup>3</sup> – 1 шт.;
- железные лопаты – 2 шт.

Каждый работник, заметивший загорание, задымление и другие явления, могущие привести к пожару в цехе, обязан:

– немедленно вызвать пожарную часть по телефону 01 , 051 или при помощи ручного пожарного извещателя;

– вызвать к месту пожара начальника смены, начальника участка, начальника цеха;

**7.3.2 Основными факторами, способными привести к чрезвычайным ситуациям техногенного происхождения на объекте, являются:**

- нарушение технологии строительства;
- отступление от проектных решений;
- нарушение правил эксплуатации и технологических регламентов;
- несанкционированные действия посторонних лиц;
- умышленное или непреднамеренное повреждение оборудования и технических средств;

- нарушение правил противопожарной безопасности и норм безопасности труда;

- ускоренная амортизация оборудования вследствие несоблюдения правил и норм технического обслуживания и ремонта;

- террористический акт.

**7.3.3 Меры предупреждения ЧС.**

При условии полного выполнения положений и требований технической документации по сооружению и эксплуатации трубопровода, реализации мер по эффективному и постоянному контролю герметичности трубопровода, соблюдению режимов деятельности в полосе отвода вероятность аварий сводится к минимально возможному уровню для объектов такого вида.

Аварии на магистральном и внутриплощадочных трубопроводах могут происходить в виде свищей, трещин, реже в виде порывов. Для предотвращения возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера предусматривается периодический контроль за состоянием тела трубы, швов с помощью средств диагностики. При проведении своевременных

диагностик, ревизий и капитальных ремонтов трубопроводов, аварийные ситуации с негативными последствиями для окружающей среды могут быть сведены до минимальных.

#### **7.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

##### **7.4.1 Правовые нормы трудового законодательства.**

Сотрудники, работающие в опасных условиях труда, должны быть обеспечены льготами в соответствии с классом вредности (ст. 210 ТК). Объем льгот не может быть меньше предусмотренного законодательством.[10] Их конкретное значение указывается в трудовом договоре. При желании работодатель может увеличить компенсацию, зафиксировав этот факт в тех же документах. Виды льгот и меры предосторожности:

1. Сокращение рабочего времени до 36 ч. в неделю (вместо положенных 40 ч.).
2. Ежегодный дополнительный отпуск за вредные условия труда с сохранением средней заработной платы длительностью не менее недели.
3. Доплата в размере 4% от заработка для должностей, сопровождающихся третьим классом опасности вне зависимости от подкласса (ст. 147 ТК).
4. Выдача молока в количестве не менее 1,5 л в день или другого продукта работникам вредных профессий, выдача продуктов может быть компенсирована в денежном выражении, согласно стоимости указанных продуктов.
5. Прохождение периодических медосмотров с целью обнаружения профзаболевания на ранней стадии (ст. 212 ТК).
6. Страхование лиц, чья работа осуществляется в условиях третьего класса вредности, от травм и несчастных случаев (ФЗ № 125). В случае наступления таковых работнику компенсируется лечение и

обеспечивается реабилитационный курс в курортном учреждении (ст. 17 ТК).

7. Лицам, условия труда которых относятся к третьему классу вредности, запрещено совмещать работу с другой, осуществляющейся в сходных обстоятельствах.
8. Выход на пенсию раньше установленного срока.

#### **7.4.2 Эргономичность рабочей зоны.**

Обод штурвала, захватываемый кистью руки, в поперечном сечении должен иметь круглую, овальную или близкую к ним форму. Поверхность обода должна быть тщательно обработана, без острых углов и заусенцев, и при необходимости надежного удержания в местах соприкосновения с пальцами должна иметь соответствующую им волнистую профилировку.

Форма и размер рукояток вращения маховиков должны обеспечивать максимальное удобство их захвата и надежного удержания в процессе управления. При этом предпочитают рукоятки удлиненных форм (цилиндрической, веретенообразной, грушевидной и др.) с плавными округлыми обводами и тщательно обработанной гладкой или рифленой поверхностью.

Маховики управления и штурвалы необходимо устанавливать на рабочем месте в пределах зоны досягаемости моторного поля оператора

Плоскость вращения маховика, не имеющего рукоятки, и штурвала должна находиться при вращении двумя руками:

стоя - под углом от 0 до 90° к горизонтали с осью вращения в сагиттальной плоскости тела оператора

Плоскость вращения маховика без рукоятки, вращаемого одной рукой как сидя, так и стоя, должна находиться под углом от 10 до 60° по отношению к предплечью соответственно действующей (правой или левой) руки

Плоскость вращения маховика, снабженного рукояткой должна находиться по отношению к предплечью соответственно действующей (правой или

левой) руки под углом:

от 10 до 90° - при вращении кистью с предплечьем и

от 10 до 45° - при вращении всей рукой.[11]

Так же присутствуют требования к управлению электроприводом. Приводной элемент кнопочных выключателей и переключателей в сечении горизонтальной плоскости должен иметь круглую или прямоугольную форму со стороны рабочей поверхности

Кромки рабочей поверхности кнопок и клавишей должны быть закруглены и на них не должно быть заусенцев и зазубрин.

Для надежного фиксирования пальца рабочая поверхность кнопок и клавишей должна иметь небольшую вогнутость

Кнопочные и клавишные выключатели и переключатели должны иметь в момент нажатия на приводной элемент обратную связь

Кнопочные и клавишные выключатели должны иметь индикацию положений «включено» или «выключено»:

для фиксирующихся выключателей и переключателей высота выступающей над панелью кнопки или клавиши 5—10 мм для положения «выключено» и 1—3 мм для положения «включено»; при необходимости могут дополняться индикацией со световым сигналом.

Приводные элементы кнопочных и клавишных выключателей и переключателей, используемых для наиболее ответственных операций, во избежание случайного нажатия следует ограждать ободком, делать бортики между кнопками и клавишами, помещать их ниже поверхности используемой панели или применять дополнительные устройства блокировки.[12]

## **Заключение**

В данном дипломном проекте был рассмотрен и рассчитан следящий электропривод переменного тока с учетом нелинейностей. ЭП питается от 3х – фазной промышленной сети переменного тока с линейным напряжением 380 В частотой 50 Гц.

Был проведен расчет параметров элементов силового канала построена область существования электромеханических характеристик, электромеханические характеристики. Смоделирована работа электропривода механизма клиновой задвижки. Модель отвечает изначальным требованиям по скорости, моменту и времени закрытия\открытия задвижки.

Синтез параметров оптимальной настройки выполнен в предположении линейности системы. Определены ожидаемые показатели качества переходных процессов.

Переходные процессы в реальном САУ СЭП обычно близко совпадают с процессами в линеаризованных системах только при малых сигналах задания перемещения, но при средних и больших перемещениях переходные процессы в реальных системах имеют значительные количественные отличия от полученных в идеализированных системах, что обусловлено, в первую очередь наличием насыщения регуляторов и ограничения тока в реальном электроприводе. Однако влияние нелинейных характеристик отдельных элементов САУ СЭП могут привести не только к количественному, но и к качественному изменению переходных процессов. Все это требует проведения дополнительных исследований по настройке реальной САУ СЭП.

## **Conclusion**

In this graduation project, a servomotor electric drive of alternating current was considered and calculated taking into account nonlinearities. The EP is powered by a 3-phase AC industrial network with a line voltage of 380 V with a frequency of 50 Hz.

The calculation of the parameters of the elements of the power channel was performed, the region of existence of electromechanical characteristics, electromechanical characteristics was constructed. The work of the electric drive of the wedge gate mechanism is modeled. The model meets the initial requirements for the speed, timing and closing time of the valve opening.

Synthesis of optimal tuning parameters is performed under the assumption of linearity of the system. The expected indicators of the quality of transient processes are determined.

Transient processes in a real ACS EPA usually closely coincide with processes in linearized systems only for small signals of the displacement reference, but for medium and large displacements, transient processes in real systems have significant quantitative differences from those obtained in idealized systems, which is due, primarily, to saturation regulators and current limitation in a real electric drive. However, the influence of the nonlinear characteristics of individual elements of the SAU EPS can lead not only to a quantitative, but also to a qualitative change in transient processes. All this requires carrying out additional studies on setting up a real ACS EP.

## Список использованных источников

1. Удут Л. С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование электроприводов. Часть 1. – Введение в технику регулирования линейных систем. Часть 2. – Оптимизация контура регулирования: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2000. – 144 с.
2. Удут Л. С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Системы управления асинхронных частотно-регулируемых электроприводов: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2011. – 469 с.
3. Удут Л. С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 5. – Применение программы DORRA-FUZZY в расчётах электроприводов постоянного тока: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2002. – 156 с.
4. Терехов В. М., Осипов О. И. Системы управления электроприводов: Учебник для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 304 с.
5. Усынин Ю. С. Системы управления электроприводов: Учебное пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. – 328 с.
6. Черных И. В. Моделирование электрических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink — СПб. ; М. : Питер : ДМК Пресс, 2008. — 288 с.
7. Дьяконов В. П. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5 : Основы применения : Полное руководство пользователя — М. : СОЛОН-Пресс, 2002-768 с.
8. Гошко А.И.. Арматура трубопроводная целевого назначения. Выбор. Эксплуатация. Ремонт – М.:Машиностроение, 2003-432с.
9. Гошко А.И.. Трубопроводная арматура. Классификация. Исполнения. Термины и определения. Технический справочник из серии “Эксплуатация и ремонт арматуры, трубопроводов, оборудования.” – М.:Инструмент, 2003-126с.



10. Гумеров А.Г., Гумеров Р.С., Акбердин А.М. Эксплуатация оборудования нефтеперекачивающих станций . – М.:ООО “Недра-Бизнесцентр”, 201. – 475с.
11. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием, М.: Академия, 2006. – 272 с.
12. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. - М.: Энергия, 1980. - 175 с.
13. Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2006. – 399 с.
14. Большаков С.В., Финансы предприятий: теория и практика учебник для вузов. – М.: Кн. Мир 2006. – 617 с.
15. Раицкий К.А. Экономика предприятия: учебник для вузов. – М.: Дашков и К, 2002. – 1012 с.
16. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов: (Вторая редакция) / М-возкон. РФ, М-во фин. РФ, ГК по стр-ву, архит. и жил. политике; рук. авт. кол.: Коссов В.В., Лившиц В.Н., Шахназаров А.Г. - М.: ОАО "НПО "Изд-во "Экономика", 2000.
17. <http://www.esbk.ru/price.html> цена АИМ-80В4 (7045)
18. <http://electroautomatica.ru/atv31cu15n4?yclid=2406435179076782312> цена ПЧ ATV31CU15N4
19. <http://www.etm.ru/cat/nn/9640174/> ПЧ SINAMICS
20. <http://www.saa.su/product/fv---1,5-kvt-3-x-380v-preobrazovatel-chastoty-1,5kw-380v-bosch-rexroth-lcd-display/> Bosch Rexroth серии Fv
- 21 Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. - М.: Энергия, 1980. - 175 с.
- 22 Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2006. – 399 с.
- 23 Большаков С.В., Финансы предприятий: теория и практика учебник для вузов. – М.: Кн. Мир 2006. – 617 с.

- 24 . Раицкий К.А. Экономика предприятия: учебник для вузов. – М.: Дашков и К, 2002. – 1012 с.
- 25 Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов: (Вторая редакция) / М-во экон. РФ, М-во фин. РФ, ГК по стр-ву, архит. и жил. политике; рук. авт. кол.: Коссов В.В., Лившиц В.Н., Шахназаров А.Г. - М.: ОАО "НПО "Изд-во "Экономика", 2000.
- 26 <http://www.esbk.ru/price.html> цена АИМ-80В4 (7045)
- 27 <http://electroautomatica.ru/atv31cu15n4?yclid=2406435179076782312> цена ПЧ ATV31CU15N4
- 28 <http://www.etm.ru/cat/nn/9640174/> ПЧ **SINAMICS**
- 29 <http://www.saa.su/product/fv---1,5-kvt-3-x-380v-preobrazovatel-chastoty-1,5kw-380v-bosch-rexroth-lcd-display/> Bosch Rexroth серии Fv
- 30 ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация
- 31 СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
- 33 СН 2.2.4/2.1.8.566-96 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.
- 34 ГОСТ 12.1.007–76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
- 35 ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация
- 36 ГОСТ 12.1.030–81 ССБТ. Защитное заземление, зануление.
- 37 ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
- 38 ГН 2.2.5.1313–03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы.
- 39 Трудовой кодекс РФ.

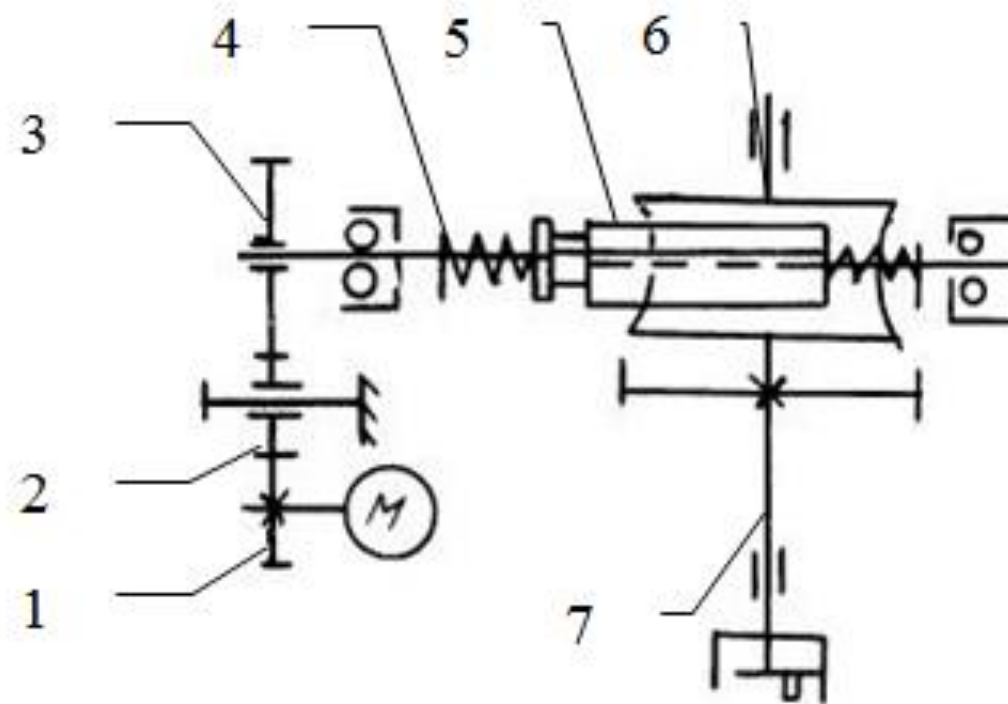
40 ГОСТ 21752-76. Система «человек-машина». Маховики управления и штурвалы. Общие эргономические требования.

41 ГОСТ 22614-77. Система «человек-машина». Выключатели и переключатели клавишные и кнопочные. Общие эргономические требования

Приложение А

Графический материал.

## Кинематическая схема клиновой задвижки



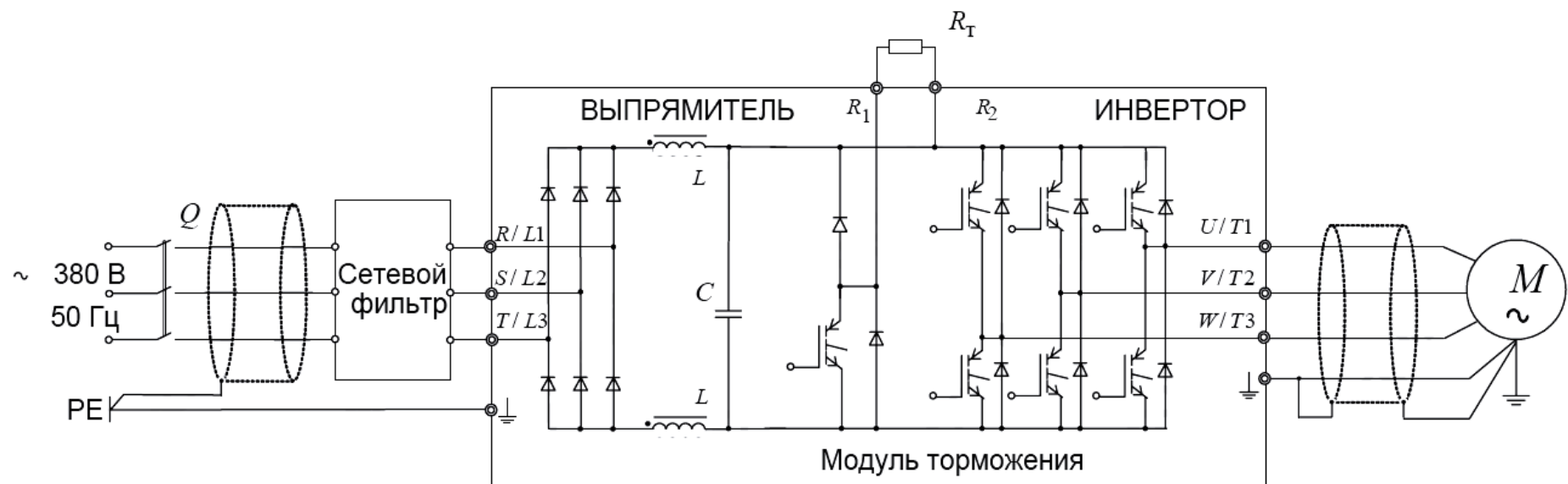
## Технические данные электродвигателя

Тип двигателя	$n_{ном},$ об/мин	$U_{1H},$ В	$P_{дв.н},$ кВт	При номинальной нагрузке			$s_K, \%$	$J_{дв}, кг \cdot м^2$
				$s_H, \%$	$\cos \varphi_H$	$\eta, \%$		
АИМ-80В4	1500	380	1,5	7	0,80	80,3	42,7	0,0034
$m_{II} = \frac{M_{пуск}}{M_H}$		$m_K = \frac{M_{макс}}{M_H}$		$m_M = \frac{M_{мин}}{M_H}$		$k_{дв} = \frac{I_{пуск}}{I_H}$		Степень защиты
1,8		2,3		1,3		5,1		IEXdllBT4

## Параметры преобразователя частоты

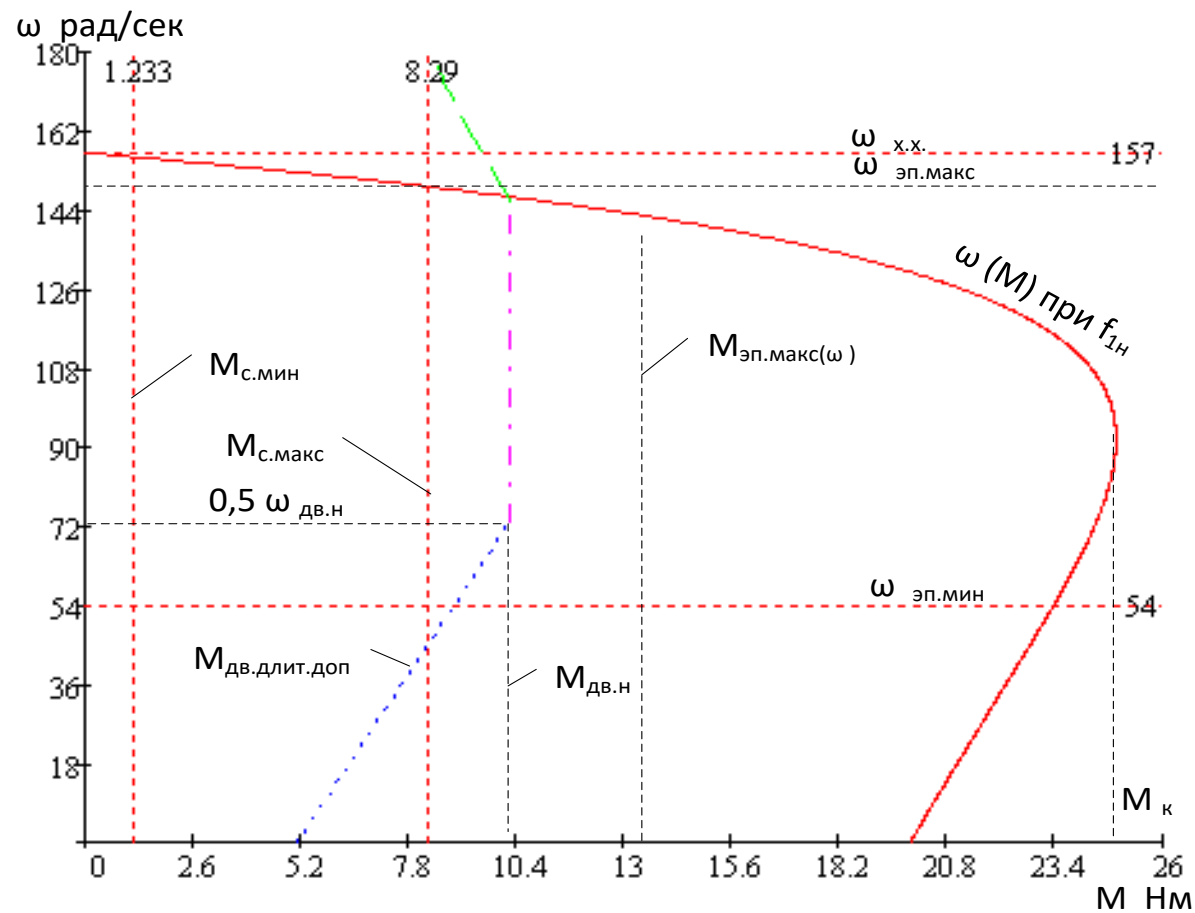
$R_1$ , Ом	Тип	Параметры питающей сети		Выходное напряжение	Выходная частота	Выходной ток		Рекомендуемая мощность двигателя	$X_{KH}$ , Ом
		$U_{1Л}$	$f_c$			$I_{И.Н}$	$I_{И.МАКС}$		
		В	Гц			А	А		
7,316	ATV31 CU15N4	3x380	50/60	380..500	0.5..500	4,1	6,2	1,5	8,767
$f_{ШИМ} = 8 \text{ кГц}$									
Степень защиты – IP55									

## Схема силовой части регулируемого электропривода

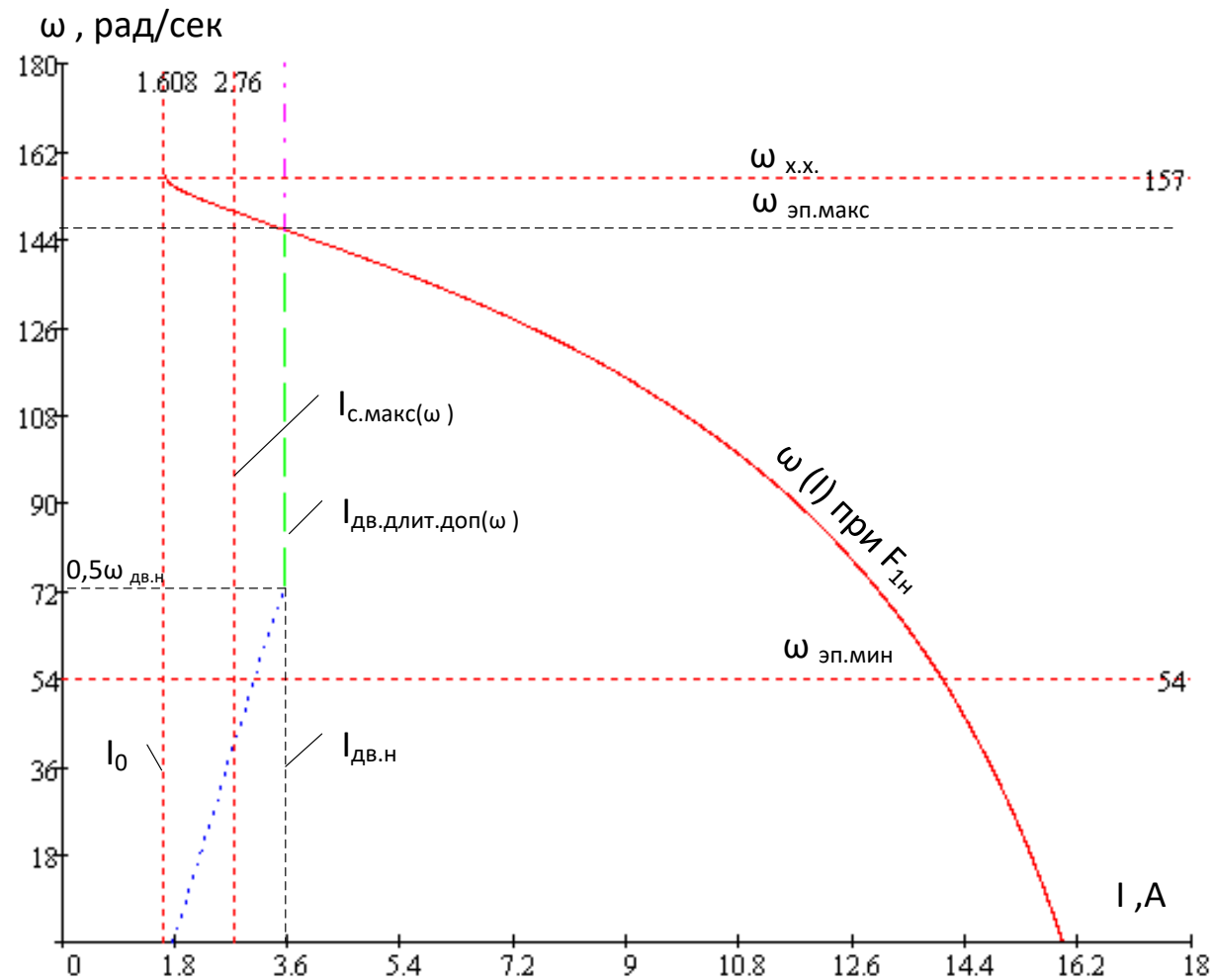




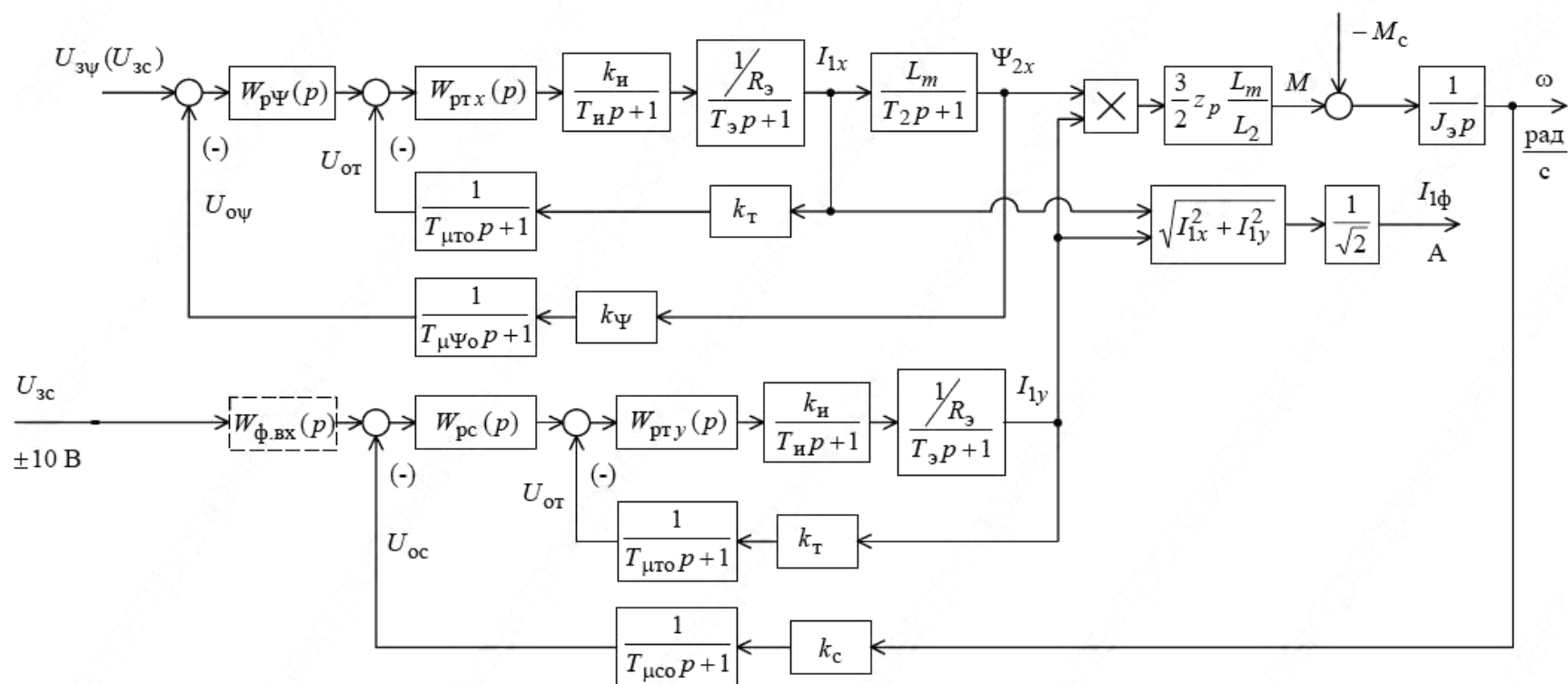
## Механическая характеристика и область работы электропривода



## Электромеханическая характеристика и область работы электропривода



## Структурная схема векторного управления электроприводом



# Имитационная модель электропривода клиновой задвижки

